

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra měřicí a řídicí techniky

**Návrh řídicího systému pro zařízení používané v
automobilovém průmyslu**
**Control System Design for a Machine Used in
Automotive Industry**

2011

Bc. Tomáš Maruniak

Prohlášení

*Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.
Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.*

V Ostravě.....

.....
Bc. Tomáš Maruniak

Prohlášení zástupce spolupracující právnické osoby.

Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských programech VŠB-TU Ostrava.

Datum:

.....
Podpis

Poděkování

Chtěl bych touto cestou poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Ing. Jiřímu Koziorkovi, Ph.D. a Ing. Leoně Motalové za cenné rady, konzultace a připomínky spojené s vypracováním mého úkolu.

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je navrhnout řídicí systém pro zařízení automobilového průmyslu, dále vytvořit řídicí software, který bude plnit požadované funkce a v závěru otestovat správnou funkčnost a bezpečnost aplikace. Řídicí systém se skládá ze samotného automatu Micrologix 1500 včetně rozšiřovacích modulů a operátorského panelu PanelView 600 Plus Color, navzájem propojených sériovou linkou.

Řízeným objektem je stroj, který upevňuje čepy na dveřní modul automobilu. Samotná funkce těchto čepů je stabilizace modulu po dobu montáže do dveří. Stroj musí být schopen rozlišit 16 druhů modulů.

V diplomové práci jsou popsány základní vlastnosti programovatelných logických automatů, principy jejich programování, stručné charakteristiky použitých rozšiřovacích modulů, jako i popis jednotlivých programovacích prostředí, včetně způsobu programování a testování aplikací.

Klíčová slova

Allen Bradley, MicroLogix 1500, PLC, RSLinx, RSLogix 500, PanelView 600 Plus, FactoryTalk View Studio

Abstract

The aim of this thesis is to develop a control system for automotive devices, as well as a control software which will perform the required functions and finally to test the proper operation and safety applications. The control system consists of the machine itself, including MicroLogix 1500 expansion modules and operator panel PanelView 600 Plus Color, interconnected via a serial line.

The controlled object is a machine that fixes the pins on the car door module. The function of these pins is to stabilize the module during installation in the door. The machine must be able to distinguish 16 kinds of door modules.

The thesis describes the basic features of programmable logic controllers, principles of their programming, brief characteristics of the expansion modules, as well as a description of the programming environment, including the method of programming and testing applications.

Keywords

Allen Bradley, MicroLogix 1500, PLC, RSLinx, RSLogix 500, PanelView 600 Plus, FactoryTalk View Studio

Seznam použitých symbolů a zkratek

ED3 – 3dveřní model

ED5 – 5dveřní model

EL – kódové označení projektu Hyundai xi35

FET – transistor ovládaný polem

HMI – rozhraní člověk-stroj (z angl. Human-Machine interface)

HSC – vysokorychlostní čítač (z angl. High Speed Counter)

I/O – vstupně-výstupní (z angl. Input/Output)

JSR – instrukce skoku do jiného programového souboru

LAD – označení subrutiny v příčkové logice

MDFK – označení rotačního snímače otáček

ML1500 – MicroLogix 1500

MLFK – označení lineárního snímače otáček

MOV – instrukce pro kopírování

N/A – údaj není přístupný (z angl. not available)

OTL – instrukce trvalého zapnutí

OTU – instrukce pro vypínání OTL

PID – regulátor

PLC – programovatelný logický automat (z angl. Programmable Logic Controller)

RS-232 – sériové komunikační rozhraní

SL – kódové označení projektu Sportage

TN-S – síť, ve které jsou ochranný a pracovní vodič vedeny samostatně

UML – grafický jazyk pro návrh a modelování systémů (z angl. Unified Modeling Language)

Un – nominální napětí vstupů

VAC – střídavé napětí

VDC – jednosměrné napětí

Seznam použitých cizích slov

bit – základní jednotka informace

direction invert bit – bit otáčející směr počítání čítače

float – datový typ reálné číslo

forcing – vynucený stav bitů

high speed input – vysokorychlostní vstup

HSCx count value – aktuální hodnota akumulátoru

input – vstup

integer – jednotka informace velikosti 32 bit

MicroLogix – typová řada procesorů Rockwell Automation

monetary button – dvoustavový tlačítko

output - výstup

push-pull – kanál B časově posunutý o 90° vůči kanálu A (kvadrurní modulace)

ramp button – tlačítko, zvyšující nebo snižující hodnotu proměnné

run mode – mód běhu automatu se zapnutým napětím na výstupech

subroutine – programový soubor

tag – návěšt'

Obsah

1	ÚVOD	1
2	ROZBOR SÚČASNÉHO STAVU RIEŠENIA	2
2.1	CHARAKTERISTIKA KOMPONENTOV	2
2.1.1	Prehľad dverových modulov	2
2.1.2	Diely vstupujúce do výroby	3
2.1.3	Technológia montáže	3
2.2	SÚČASNÝ STAV ZARIADENIA	4
2.2.1	Stav zariadenia po dodaní	4
2.2.2	Požadovaný stav po dokončení	4
2.3	OPIS ZARIADENIA	5
2.3.1	Ovládacie prvky	5
2.3.2	Nastavovanie polôh podpier	6
2.3.3	Snímanie otáčok motorov	7
2.3.4	Riadenie motorov	8
2.3.5	Rozlišovanie dielov	8
2.3.6	Bezpečnostné prvky	8
3	FUNKČNÁ ANALÝZA SYSTÉMU	10
3.1	FUNKČNÉ POŽIADAVKY	10
3.1.1	Funkcie systému	10
3.1.2	Chovanie systému	11
3.1.3	Funkcie a vzhľad vizualizačnej aplikácie	12
3.1.4	Technologické parametre	12
3.2	POPIS SYSTÉMU POMOCOU UML DIAGRAMOV	12
3.2.1	Diagram pre popis štruktúry	13
3.2.2	Diagramy pre popis chovania	13
4	NÁVRH RIADIACEHO SYSTÉMU	18
4.1	POŽIADAVKY NA HARDWARE	18
4.1.1	Vlastnosti vstupných signálov	18
4.1.2	Vlastnosti výstupných signálov	19
4.2	VÝBER HARDVÉRU	20
4.2.1	Špecifikácia komponentov	21
5	NÁVRH OPERÁTORSKÉHO ROZHRANIA SYSTÉMU	25
5.1	PREHLAD MOŽNÝCH RIEŠENÍ	25
5.2	VÝBER OPERÁTORSKÉHO PANELA	25
6	IMPLEMENTÁCIA A TESTOVANIE RIADIACEJ APLIKÁCIE	27
6.1	VÝVOJ PROGRAMU	27
6.1.1	Softvérové prostriedky	27
6.1.2	Hardvérová konfigurácia	28

6.1.3	Definovanie vstupov a výstupov.....	30
6.1.4	Štruktúra programu	31
6.2	ROZBOR FUNKCIE SUBRUTIN.....	33
6.2.1	Subrutina „LAD 2 – Main_prog“	33
6.2.2	Subrutina „LAD 3 - Inicializácia“	34
6.2.3	Subrutina „LAD 4 - Error“	34
6.2.4	Subrutina „LAD 5 – Základná poloha“	36
6.2.5	Subrutina „LAD 10 – Meranie“	37
6.2.6	Subrutiny „LAD 6 – LAD 9“	37
6.2.7	Subrutina „LAD 11 – Ručný“	38
6.2.8	Subrutina „LAD 12 – Cyklus“	39
6.2.9	Subrutina „LAD 13 – Výroba“	39
6.2.10	Subrutina „LAD 14 – Vibráky“	40
6.2.11	Subrutina „LAD 15 – Počítadlá“	40
6.2.12	Subrutina „LAD 16 – Výstupy“	41
6.3	TESTOVANIE APLIKÁCIE	42
7	NÁVRH, REALIZÁCIA A TESTOVANIE VIZUALIZAČNEJ APLIKÁCIE.....	43
7.1	ŠTRUKTÚRA APLIKÁCIE	43
7.2	NÁVRH APLIKÁCIE	43
7.2.1	Hlavná ponuka.....	44
7.2.2	Automatický režim.....	44
7.2.3	Ručný režim.....	46
7.2.4	Nastavenie.....	47
7.2.5	Počítadla.....	49
7.3	TESTOVANIE VIZUALIZAČNEJ APLIKÁCIE	50
8	ZÁVER.....	52
9	POUŽITÁ LITERATÚRA	
10	SEZNAM PŘÍLOH	

1 Úvod

Hospodársky rast a zvyšovanie výroby automobilov v 70. rokoch boli hnacím motorom pre vývoj zariadení, ktoré by nahradili vtedajšie elektromechanické reléové riadiace systémy. Dôvodmi boli komplikované zmeny riadiacich funkcií, vysoké náklady na prevádzku a údržbu a veľké rozmery.

Prvé vyvinuté automaty boli schopné spracovávať len logické operácie, binárne signály a obsahovali jednobitový procesor. Bol to však impulz, ktorý udal smer vývoja priemyselnej automatizácie až do súčasnosti.

Dnešné programovateľné logické automaty obsahujú výkonné mikroprocesory, dokážu spracovávať veľké množstvo vstupov a výstupov, analógové veličiny, rýchle impulzy bežne do 20 kHz, obsahujú PID regulačné funkcie a dnes už aj najnižšie rady PLC dokážu komunikovať po určitej zbernici.

Táto diplomová práca je zameraná na výber vhodného riadiaceho systému a operátorského rozhrania, vytvorenie riadiaceho softvéru a jeho otestovanie v prevádzke. Výsledným produktom by mal byť správne pracujúci stroj, ktorý bude spĺňať bezpečnostné a prevádzkové kritéria.

V prvej kapitole je opísaný stav zariadenia po dodaní. Stručný rozbor ponúka pohľad na mechanické prevedenie stroja, elektrické zapojenie a na spôsob ovládania akčných členov. Krátky popis spracovávaných komponentov dopĺňa predstavu o funkcií zariadenia.

Druhá kapitola je venovaná analýze systému. Sú v nej spresnené požiadavky na chod stroja, obsah vizualizačnej aplikácie a zahŕňa aj technologické požiadavky zadávateľa. Následne je systém namodelovaný pomocou UML diagramov, čím sa vytvára presnejšia predstava o jeho chovaní.

V ďalších dvoch kapitolách je obsiahnutý výber hardvéru automatu a operátorského panela. Zhrnutím vlastností vstupných a výstupných signálov je zúžený výber vhodného PLC. Podľa špeciálnych funkcií je následne vybraný najvhodnejší typ. Nasleduje konfigurácia zostavy, ktorá vyhovuje typu a počtu spracovávaných signálov. Voľba panela podlieha požiadavkám na prehľadnosť a jednoduchosť ovládania, pričom musí rešpektovať priestorové obmedzenia. Z niekoľkých veľkostí a tried je vybraný najvhodnejší typ.

Šiesta kapitola popisuje vývoj riadiacej aplikácie. V úvode je načrtnuté vytvorenie nového projektu, hardvérovej konfigurácie a definovanie I/O. Zvýšená pozornosť je venovaná nastaveniu vysokorýchlostných čítačov. Ďalej je navrhnutá štruktúra programových súborov, ich funkcia a popis. V závere sú otestované základné funkcie, ktoré sú nevyhnutné pre bezpečnú a spoľahlivú prevádzku.

Posledná kapitola obsahuje návrh aplikácie operátorského panela. Stručný popis jednotlivých obrazoviek vytvára predstavu o ovládaní stroja a o zobrazovaných informáciách. Na konci kapitoly je naznačený postup testovania vytvorenej aplikácie a konečné testovanie vzniknutých softvérov.

V závere je zhrnutý postup práce, zvolené princípy a zhodnotenie dosiahnutých výsledkov.

2 Rozbor súčasného stavu riešenia

Zariadenie slúži pre montáž čapov na dverový modul automobilu. Ich funkciou je držanie modulu vo dverách automobilu počas montáže. Po upevnení strácajú význam, avšak pre jednoduchosť a rýchlosť montáže je ich prítomnosť nutná. Pri väčšine modulov sa upevňujú dva čapy, pri menších moduloch len jeden kus. Ich počet závisí od tvaru modulu a je pevne definovaný výrobcom.

2.1 Charakteristika komponentov

Dverový modul automobilu je plechový výlisok, ktorý plní funkciu nosného dielu pre výbavu dverí automobilu. Jeho tvar, poloha a veľkosť otvorov závisí od rozloženia jednotlivých komponentov, ktoré sa na modul upevňujú. Predovšetkým je to zámok, motor pre otváranie okien, tzv. spúšťače, ktoré fixujú okno, lišty, v ktorých sa pohybujú spúšťače, kabeláž, reproduktor a samotné závesné čapy. Kompletne osadený dverový modul je na Obr. 1.



Obr. 1 Kompletne osadený dverový modul (vnútorná a vonkajšia strana)

2.1.1 Prehľad dverových modulov

Tvar modulu závisí od modelu auta, do ktorého je určený a od pozície dverí, do ktorých bude montovaný. Pre jeden model auta logicky vychádzajú 4 druhy modulov pre montáž na zariadení. To neplatí pri trojdverovom modeli, a taktiež pri oddelenej montáži predných a zadných plechov niektorých typov áut. V Tab. 1 je prehľad dverí, ktoré bude predmetné zariadenie spracovávať.

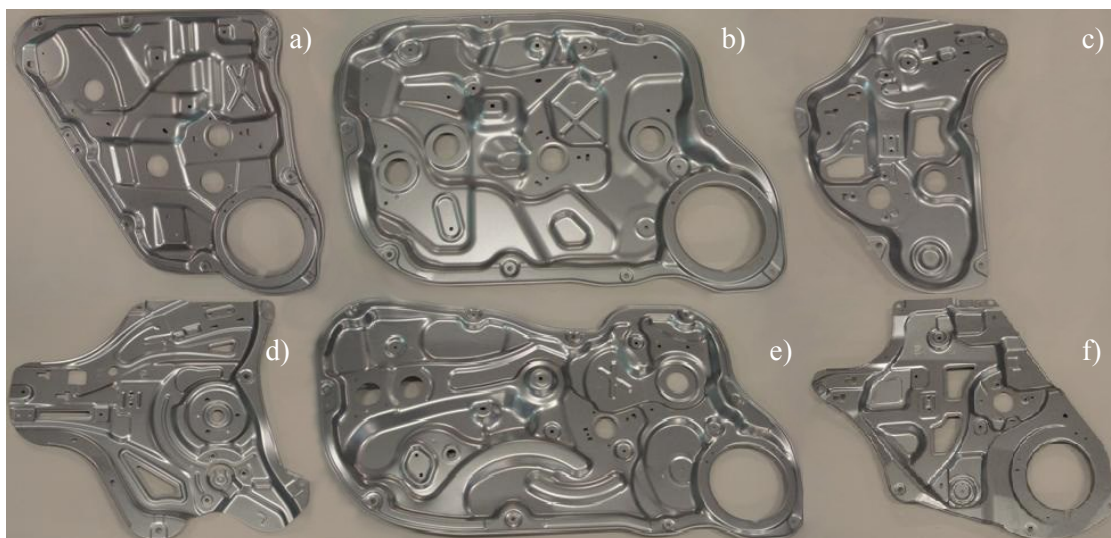
Modul Model	Predný ľavý	Predný pravý	Zadný ľavý	Zadný pravý
ED5 man.	X	X	X	X
ED5 el.	X	X	X	X
ED3	X	X		
SL			X	X
LM	X	X	X	X

Tab. 1 Prehľad spracovávaných modulov

Model auta v Tab. 1 je interné kódové označenie projektu. V automobilovom priemysle je to bežná prax, preto je použité aj v tejto práci. Značka „X“ v tabuľke znamená, že tento typ sa bude na zariadení vyrábať.

2.1.2 Diely vstupujúce do výroby

Do výrobného procesu vstupuje celkom 16 typov modulov a jeden typ čapov, spoločný pre všetky diely. Vo väčšine prípadov sú použité 2 čapy na jeden modul, pri modeli SL sa montuje jeden. V tomto prípade jeden čap výrobca nahradzuje skrutkou.



Obr. 2 Prehľad variability tvarov a veľkostí dverových modulov: a) ED5 zadný ľavý, b) ED5 predný ľavý, c) EL ľavý zadný, d) EL predný ľavý, e) ED3 ľavý, f) SL zadný ľavý modul

Odlišnosti medzi jednotlivými modulmi sú už na prvý pohľad zrejmé z Obr. 2. V prvom rade sú to rôzne rozmery a s tým súvisiace rozdielne polohy čapov v horizontálnom smere. V druhom rade je to nerovnaká poloha otvorov pre čap vo vertikálnom smere. Z toho vyplýva nutnosť vysokej variability nastavení a polôh podporných pinov a nitovačiek daného zariadenia.

2.1.3 Technológia montáže

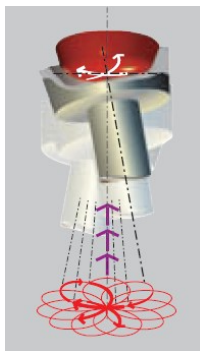
Pri spracovaní musí dôjsť k pevnému nerozoberateľnému spoju oboch komponentov. Čap je v hornej časti zúžený a má dosadaciu plochu pre plech. Plech obsahuje otvor, ktorým sa nasadí na zúženú časť čapu (Obr. 3).



Obr. 3 Spôsob spájania dielov

V tejto polohe dochádza k spojeniu oboch dielov. Na čap začne pôsobiť pomocou nástroja axiálna sila. Zároveň s ňou nástroj vykonáva špecifický pohyb, ktorý spôsobuje rozťahovanie materiálu čapu do strán. Jedná sa o radiálne nitovanie (Obr. 4). Tento spôsob spracovania zabezpečuje dokonalejšie a pevnejšie spojenie oboch dielov s menším porušením vnútornej štruktúry materiálu, čím sa následne zabráni odlamovaniu častí roznitovaného čapu.

Pre zaručenie určitej štandardnej kvality spojenia treba zabezpečiť hornú hranicu sily, akou nitovacie zariadenie pôsobí na čap. V opačnom prípade dochádza k narušeniu štruktúry materiálu a prehýbaniu plechu v blízkom okolí spoja.



Obr. 4 Princíp radiálneho nitovania čapu [1]

2.2 Súčasný stav zariadenia

Na výrobu modulov osadených čapmi bolo externým dodávateľom vyrobené zariadenie, ktoré bude túto funkciu plniť. Ide o jednoučelový stroj pre nitovanie čapov na plech (Obr. 5). Zariadenie bude obsluhovať jeden operátor. Jeho úlohy sú vkladať moduly do stroja, spúšťať nitovací proces, obsluha ovládacích prvkov a operátorského panela, vyberanie hotových kusov, dopĺňanie čapov do zásobníkov a vyhodnocovanie porúch a prevádzkyschopnosti stroja. Všetky ostatné funkcie budú automatizované.

2.2.1 Stav zariadenia po dodaní

Zariadenie je umiestnené na predpokladanom pracovisku. Je pripojené na zdroj stlačeného vzduchu 0,6 MPa a elektrickú inštaláciu 3x230/400V TN-S. Sú osadené a nastavené všetky mechanické súčasti a pneumatické prvky. Taktiež je vytvorená kompletná elektrická inštalácia s výnimkou pripojenia PLC a operátorského panela. Kabeláž snímačov a ovládacích prvkov, určená k pripojeniu do automatu, je teda vyvedená do svorkovnic. Na stroji sú namontované všetky potrebné snímače, avšak bude nutné nastavenie správnych pracovných polôh.

2.2.2 Požadovaný stav po dokončení

Vo finálnom stave sú požiadavky na zariadenie nasledujúce:

- osadené PLC a operátorský panel,
- dokončená elektrická inštalácia, vrátane pripojenia panela a všetkých vstupov a výstupov do PLC,
- vytvorený riadiaci softvér v automate,
- nahratá funkčná aplikácia v operátorskom paneli,
- nastavená správna pracovná poloha a citlivosť všetkých snímačov,

- otestovaná funkčnosť a spoľahlivosť programu.

Požiadavky na prevádzkové režimy zariadenia:

- automatický režim pre operátora,
- nastavovací režim pre nastavovača,
- servisný režim pre údržbu.

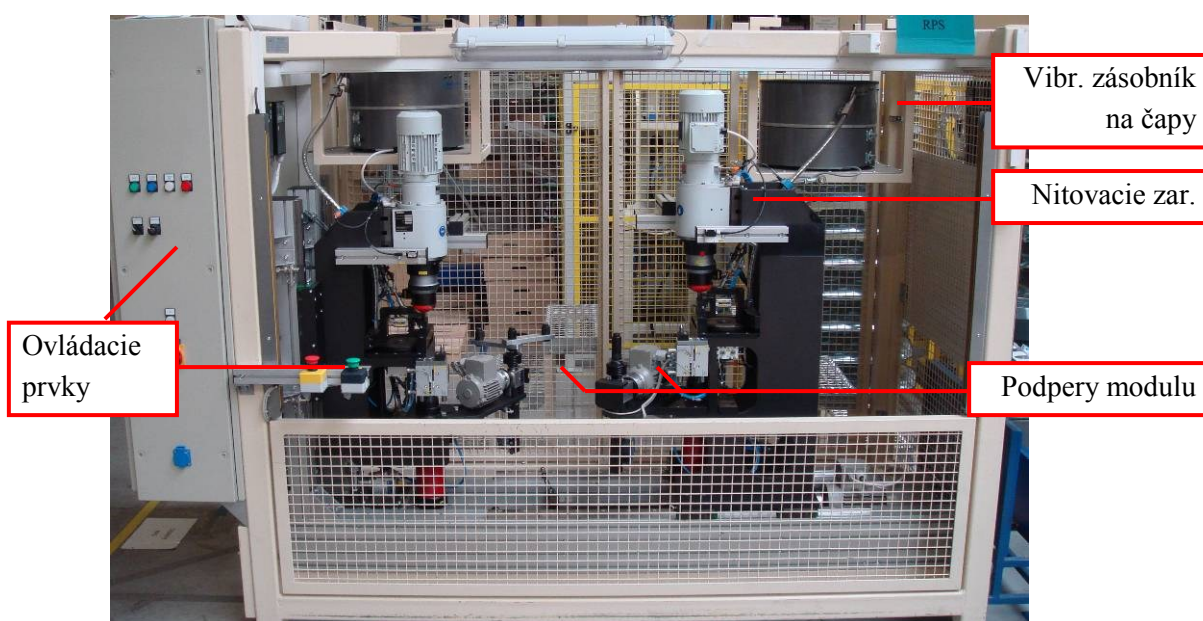
Automatický režim: je určený pre operátora len na výrobu zanitovaných modulov. K dispozícii budú na paneli chybové hlásenia a pracovný postup. Akýkoľvek prístup k nastavovacím funkciám je blokovaný mechanickým prepínačom s kľúčom.

Nastavovací režim: slúži pre nastavovača a dovoľuje okrem automatického režimu výber typu modulu do výroby. Prístup k príslušným funkciám v paneli je podmienený prepnutím kľúča do polohy pre nastavovača.

Servisný režim: je prístupný po prihlásení sa oprávnenej osoby do operátorského panela a umožňuje nastavovanie nových pozícií pre výrobu modulov, ako aj ľubovoľný pohyb všetkými pohyblivými časťami zariadenia pre servisné účely.

2.3 Opis zariadenia

Na Obr. 5 sú vyznačené základné časti stroja. Sú to predovšetkým ovládacie, bezpečnostné a funkčné prvky.



Obr. 5 Nitovacie zariadenie po dodaní

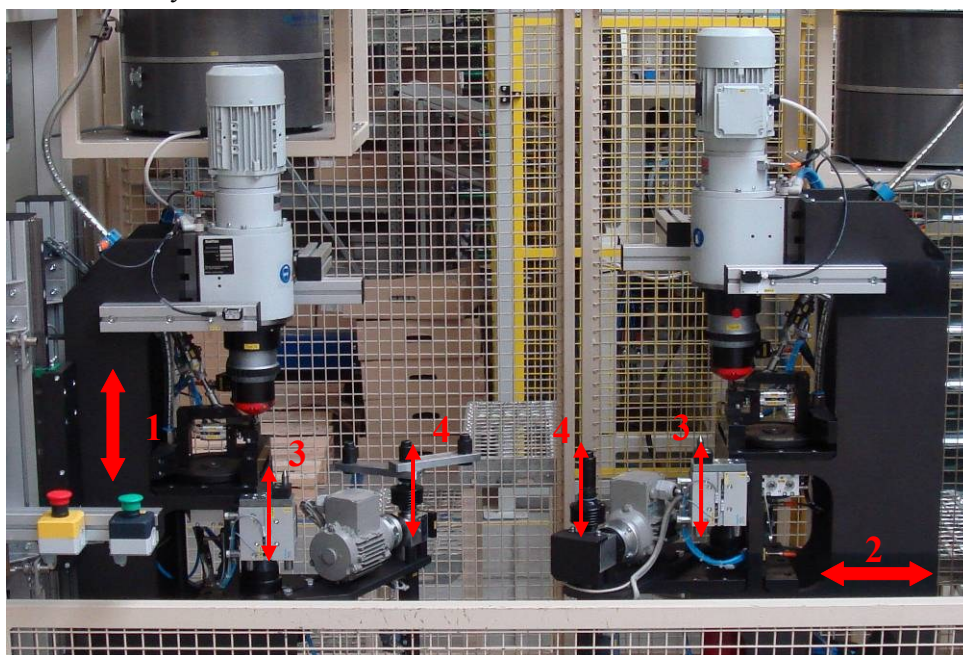
2.3.1 Ovládacie prvky

Na bočnej časti elektrického rozvádzača sú osadené ovládacie prvky. Ich počet je minimálny, pretože prevažná časť funkcií stroja bude dostupná z operátorského panela. V dolnej časti je hlavný vypínač pre pripojenie stroja k elektrickej sieti. V hornej rade je zelené tlačidlo „riadenie“, ktoré

zapína ovládacie napätie 24 V pre snímače, pneumatické ventily a bezpečnostné obvody. Vedľa je modré kontrolné svetlo „základná poloha“, ktoré bude signalizovať pripravenosť stroja pre vloženie modulu k zánitovaniu. Ďalej je biele svetlo „cyklus“, indikujúce prebiehajúci nitovací cyklus. Posledné v hornej rade je červené tlačidlo „nulovanie“, ktorého funkciou je vrátiť zariadenie do pôvodného stavu pri núdzovom vypnutí, prípadne na odsúhlasenie alarmov a chýb. V dolnej rade je spínač osvetlenia stroja a prepínač s kľúčom pre prístup nastavovača k príslušným funkciám.

2.3.2 Nastavovanie polôh podpier

Ako je zrejmé z Tab. 1, zariadenie bude spracovávať 16 druhov modulov. Je navrhnuté tak, aby sa jeho podpory dokázali prispôbiť každému modulu. Na Obr. 6 sú zvýraznené smery pohybu jednotlivých nastaviteľných častí.



Obr. 6 Variabilita pohybu jednotlivých častí

Pre nastavenie polôh čapov sú držiaky nitovačiek nastaviteľné v horizontálnom aj vertikálnom smere. Ľavý držiak (1) sa pomocou zdvižnej prevodovky pripojenej na motor dokáže pohybovať vertikálne. Tým sa vyrovnajú rôzne výšky nitovacích plôch a zabezpečí sa kolmosť čapu vzhľadom k plechu. Pravý držiak nitovačky (2) je pomocou valcovej trapézovej skrutky a motora schopný pohybovať sa horizontálne vpravo a vľavo. Týmto dvoma mechanizmami je dosiahnutá kolmosť čapu na plech pri ľubovoľnom nitovanom type.

Ďalej je modul podopieraný dvoma podperami (4). Aj v tomto prípade sú použité zdvižné prevodovky, poháňané trojfázovými asynchrónnymi motormi. Tvar podpier je navrhnutý tak, aby zabezpečil všetky druhy modulov pred vibrovaním počas nitovacieho procesu.

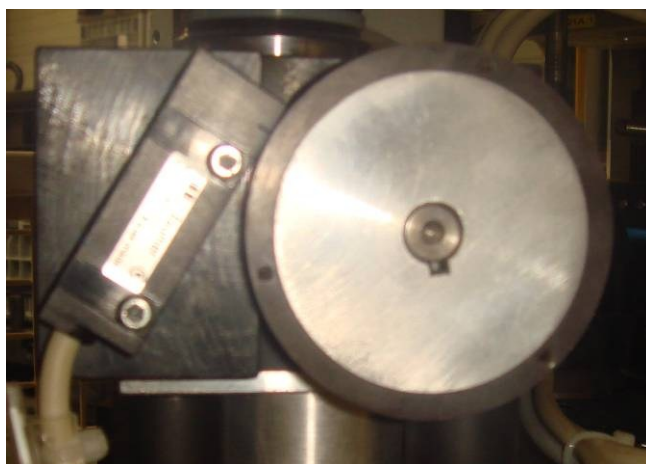
Aby boli podopreté aj menšie plechy aspoň v troch bodoch, obzvlášť tie, kde je len jeden čap, sú na zariadení doplnené fixačné tŕne (3). Sú to centrovacie kolíky, na ktoré sa osadí modul vybraným otvorom. Pohybujú sa vertikálne pomocou pneumatických valcov.

2.3.3 Snímanie otáčok motorov

V 2.3.2 je opísaný spôsob nastavovania podperných a fixačných prvkov. Je zrejmé, že pri použití motorov vzniká nutnosť snímať ich otáčky pre dosiahnutie presného polohovania. V opačnom prípade - bez použitia spätnej väzby - je nastavenie správnej polohy možné len časovaním pohybu a vznikajú ofsety. Tie sa postupne sčítavajú a výsledné polohovanie je nepresné.

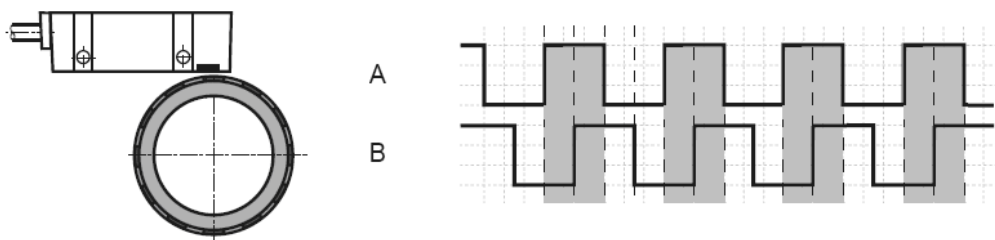
Na snímanie otáčok motorov sú použité magnetické snímače polohy série MDFK 08 od firmy Baumer Electric. Ich parametre sú dôležité pri výbere automatu.

Snímanie otáčok je zložené z dvoch častí. Jednou je telo samotného snímača otáčok a druhou viacpólový kruhový magnet (Obr. 7).



Obr. 7 Snímač otáčok Baumer Electric

Otáčaním magnetu je v snímači generovaný analógový signál, ktorý sa ďalej spracováva. Výsledkom je výstupný signál s obdĺžnikovým priebehom v dvoch kanáloch A a B, vzájomne posunutý o 90°. Posunutie umožňuje rozlišovať smer otáčania magnetu. Pri rotácii do opačného smeru sa zmení poradie postupnosti pulzov. Rozlíšenie je určené počtom pólov magnetu. V tomto prípade je použitý magnet so 16-imi pólami dvojicami s 8-násobnou interpoláciou. Výsledkom je 256 pulzov na jednu otáčku. [4]

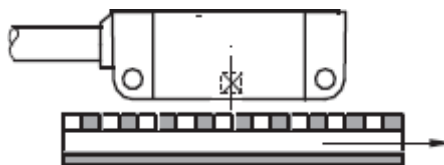


Obr. 8 Princíp snímania otáčok a výstupný signál snímača [4]

Pri prechode snímača ponad jeden pól magnetu sa na výstupe vystriedajú 4 kombinácie stavov výstupov A a B (Obr. 8). Pri 256 pulzoch na jednu otáčku magnetu teda pripadá 1024 krokov. S použitou zdvižnou prevodovkou SE 2-N so zdvihom 0,8 mm na jednu otáčku vstupného hriadeľa je

možnosť dosiahnuť presnosť polohy podpory teoreticky až $7,8 \times 10^{-4}$ mm. V tomto prípade bude plne vyhovovať presnosť polohy podpier $\pm 0,5$ mm. [7]

Princíp snímania lineárnych pohybov závesov nitovačiek je na stroji obdobný ako snímanie otáčok. Opäť sú použité magnetické snímače, avšak série MLFK 08 pre lineárne vedenia. Tým pádom je namiesto magnetického valca použitá magnetická páska a tá je umiestnená pri lineárnych ložiskách. Princíp je na Obr. 9.



Obr. 9 Princíp snímania lineárnych pohybov [5]

Pri šírke pólu magnetickej pásy 2 mm a 8-násobnej interpolácii je rozlíšenie pásy 0,25 mm.[5] Vďaka štyrom stavom výstupov A a B na každý pól sa presnosť polohovania zvyšuje na 0,0625 mm.

2.3.4 Riadenie motorov

Zariadenie obsahuje 4 trojfázové asynchrónne motory. Ich ovládanie je zabezpečené frekvenčnými meničmi. Pre motory, ovládajúce podpory a horizontálny pohyb pravého závesu nitovačky slúžia malé meniče Omron rady J1000. Ovládanie pohybov je zabezpečené pomocou digitálnych vstupov. Jedná sa hlavne o funkcie štart/stop, vpred/vzad a rýchlo/pomaly. Posledný motor, slúžiaci pre zdvih ľavého závesu riadi výkonnejší menič Telemecanique rady Altivar 71, hlavne z dôvodu vyššieho zaťaženia. Aj v tomto prípade je využité ovládanie digitálnymi vstupmi.

2.3.5 Rozlišovanie dielov

Každý dverový modul, ktorý sa na zariadení spracováva, musí byť identifikovateľný a nesmie byť zameniteľný za iný typ. Vzniká preto nutnosť rozpoznávať vložený typ modulu. Súčasný riešenie obsahuje 6 optoelektronických difúzných snímačov. Po vložení modulu na podpory bude určitá kombinácia signálov zo snímačov zodpovedať danému typu modulu. Ich umiestnenie je predmetom návrhu konštruktéra zariadenia, avšak kontrola jedinečnosti kombinácií je nutná pre tvorbu kódu.

2.3.6 Bezpečnostné prvky

Pre bezpečnú prevádzku strojov a zariadení v zmysle platných zákonov a noriem obsahuje zariadenie výbavu pre bezpečnú prevádzku a ochranu zdravia pri práci.

Pre zabezpečenie stroja pred nepovolaným vstupom človeka do zóny s rizikom úrazu je pred pracovným priestorom inštalovaná bezpečnostná svetelná bariéra. Je osadená v prednej časti stroja, ktorá nie je chránená oplotením. Po prerušení bariéry dôjde k rozpojeniu kontaktov bezpečnostného relé. To bude využité v automate pre signalizáciu prerušenej závory a zastavenie prebiehajúceho cyklu. Pre rýchle vypnutie stroja je v ľavej časti prístupné tlačidlo núdzového zastavenia. Zadnú časť stroja je pre účely opráv možné otvoriť dvojkrídlovou bránou, preto sú na konštrukcii umiestnené elektromechanické koncové spínače. Bezpečnostné prvky sú pripojené do samostatného bezpečnostného relé, ktoré po aktivovaní niektorého z nich odpojí hlavný prívod vzduchu a napájacie

napätie na stýkačoch, napájajúcich frekvenčné meniče a vibračné zásobníky. Tým dôjde k bezpečnému odpojeniu silových častí.

Z hľadiska bezpečnosti je nutné zabezpečiť aj bezpečné odstavenie motorov pri prekročení pojazdov za povolenú hranicu. Aby nedošlo k havárii, na vhodnom mieste sú umiestnené koncové spínače, ktoré odpoja meniče od riadiacich signálov a zabráni poškodeniu zariadenia.

Výrobok je vyvinutý, konštruovaný a vyrobený v súlade s ustanoveniami a požiadavkami:

- nariadením vlády č. 170/1997 Sb., v znení zmeny č. 15/1999 Sb. a zmeny č. 283/2000 Sb. (Smernica pre stroje a strojné zariadenia 98/37 EC),
- nariadením vlády č. 168/1997 Sb., v znení zmeny č. 281/2000 Sb. (Smernica pre zariadenia nízkeho napätia 73/23 Sb.),
- nariadením vlády č. 169/1997 Sb., v znení zmeny č. 282/2000 Sb. (Smernica pre elektromagnetickú kompatibilitu 89/336/EEC).

3 Funkčná analýza systému

Vývoju programu predchádza identifikácia a analýza daného systému. Je nutné poznať chovanie systému, očakávané funkcie a požadované vstupy a výstupy zo systému. V prvom rade je nutné vedieť, čo má systém vykonávať a teda k akému účelu bude vytvorený. Ďalším dôležitým krokom je detailnejšie spoznať špecifikáciu, ktorá opisuje ako systém pracuje, aké požaduje vstupy a výstupy, obsahuje špeciálne požiadavky a tvorí hrubý obraz o budúcom návrhu. Dôležitá je pritom komunikácia so zákazníkom pre odstránenie potenciálnych chýb návrhu, spôsobených nekompletnou dokumentáciou, prípadne nedorozumeniami počas zadávania projektu.

3.1 Funkčné požiadavky

Presnosť a detailnosť zadaných požiadaviek a technickej dokumentácie majú rozhodujúci vplyv na rýchlosť a presnosť návrhu systému. Čím viac informácií je dostupných, tým lepšie sa programátor orientuje v danej problematike a konečný produkt oveľa viac zodpovedá želanému výsledku. Analýza požiadaviek zadávateľa je nenahradiiteľným krokom životného cyklu programu. Požiadavky na zariadenie sú rozdelené do 4 kategórií:

- funkcie systému,
- chovanie sa systému,
- funkcie a vzhľad vizualizačnej aplikácie
- technologické požiadavky.

Jednotlivé kategórie spolu tvoria ucelenejšiu predstavu o konečných funkciách zariadenia.

3.1.1 Funkcie systému

Konštrukcia stroja je navrhnutá pre vysokú variabilitu nastavení, čo vyplýva z rôznorodosti jednotlivých modulov. Každý pohyblivý prvok je ovládaný samostatným riadiacim členom. Pneumatické valce ovládajú pneumatické rozvážače, motory pohyblivých častí sú ovládané frekvenčnými meničmi, nitovacie zariadenia spúšťajú stýkače. Pre každý z týchto prvkov bude automat vysielat' signály pre riadenie činností. Pri niektorých prvkoch je to jeden signál, pri iných kombinácie viacerých signálov.

Hlavnou funkciou zariadenia je proces nitovania čapov. Všetky operácie spojené s touto činnosťou musia byť plne automatizované a bez potreby zásahu operátora. Automat rieši všetky potrebné kroky autonómne a zastavenie chodu nitovacieho procesu je možné iba z dôvodu poruchy, prípadne nesplnenia podmienok pre pokračovanie činnosti.

Ďalšou funkciou zariadenia je zaistenie bezpečnosti obsluhy. Systém musí po narušení priestoru stroja zastaviť akúkoľvek činnosť a uviesť potencionálne nebezpečné časti stroja do bezpečnej polohy. Prevažná väčšina týchto funkcií je vyriešená hardvérovo pomocou bezpečnostných prvkov. Tie vykonávajú odpojenie riadiacich členov od elektrickej energie a stlačeného vzduchu. Niektoré prvky však nesmú byť odpojené, aby sa mohli vrátiť do základných polôh. Tým sú myslené predovšetkým nitovačky. Po narušení nebezpečného priestoru sa musia vrátiť do horných polôh, prípadne v nich zotrvať.

Ďalej sa žiada, aby bol stroj jednoducho prestaviteľný na iný typ vyrábaného kusu. Program si musí pamätať pozície všetkých pohyblivých častí pre každý vyrábaný kus a po zvolení tohto výrobku

do výroby sa musí samostatne prestaviť do nových polôh. Povolenie tejto činnosti je podmienené prepnutím kľúča. Rozšírením tejto funkcie je voľba kombinovanej výroby. Znamená to možnosť striedavo vyrábať určitú kombináciu dverí toho istého auta. Požiadavka vychádza najmä z náväznosti ďalšieho stroja, na ktorom sa spracovávajú striedavo ľavé a pravé moduly.

Program si musí pamätať počet vyrobených kusov a tento údaj musí byť kedykoľvek dostupný. Údaje o vyrobených kusoch sú samostatne pre každý typ vyrábaného modulu a pre potreby údržby je údaj o celkovom počte všetkých vyrobených kusoch. Tieto počítadlá musí byť možné kedykoľvek vynulovať. Podmienkou je prepnutý kľúč. Nepovinnou funkciou je upozornenie o prekročení počte nitovacích cyklov a potrebe výmeny nitovacích nástrojov. Taktiež je prístupné vynulovanie, ale len pre oprávnené osoby.

Ďalšou funkciou je možnosť za určitých podmienok ovládať pohyblivé časti. Tým je myslené nezávislé pohybovanie pneumatickými valcami, závesmi nitovačiek a podperami, teda spúšťanie motorov mimo nitovacieho procesu. Nesmú byť pritom prekročené krajné polohy, aby nedošlo k poškodeniu častí zariadenia alebo zraneniu obsluhy. Podmienkou na tieto operácie je prepnutý kľúč a tiež prihlásenie sa oprávnenej osoby.

Poslednou požiadavkou je zmena nastavení polôh pre jednotlivé vyrábané typy. Pri zmene špecifikácie modulov môže dôjsť k zmene rozmerov, a tým vzniká potreba prestaviť stroj podľa nových parametrov. Uvedená funkcia môže byť rozšírením tej predchádzajúcej, pričom budú platiť rovnaké bezpečnostné opatrenia.

3.1.2 Chovanie systému

Definovanie chovania sa systému má zásadný vplyv na výsledný program. Z pohľadu programátora sa dá daný systém charakterizovať v dvoch stavoch. Prvým je automatický režim výroby dielov a v druhom sú zahrnuté všetky ostatné činnosti, ktoré sa vykonávajú mimo automatického režimu. V podstate ide o funkcie využívané zriaďovačom a technikom údržby. V prvom sú kroky prísne sekvenčne dané a akákoľvek chyba zastavuje dokončenie úlohy. V druhom chyba jednej funkcie neobmedzuje možnosť používania iných funkcií, pokiaľ sa nejedná o chybu, ktorá ich použitie priamo blokuje (mechanická, elektrická...)

Pre vytvorenie vyhovujúceho programu je nutné definovať automatický režim výroby dielov. Ten je definovaný postupnosťou krokov:

- operátor vloží modul do stroja a stlačí tlačidlo štart,
- stroj porovná vložený diel s nastaveným typom a rozhodne o spustení cyklu,
- modul sa zaistí proti pohybu,
- prebehne časovo obmedzený nitovací cyklus,
- nitovací proces ukončený – modul sa odistí a stroj čaká na jeho vybratie,
- po vybratí modulu sa vykoná prestavenie polôh (v prípade nastavenia kombinovanej výroby),
- vykoná sa nabitie nových nitov,
- zariadenie je pripravené na nový cyklus.

Presnejší popis sekvencie činností jednotlivých prvkov nie je presne daný, vychádza však z použitých technických riešení, umiestnení snímačov a projektovej dokumentácie.

3.1.3 Funkcie a vzhľad vizualizačnej aplikácie

Operátorský panel musí umožňovať vykonanie všetkých činností, ktoré nie sú dostupné pomocou tlačidiel. Bude slúžiť ako jediné rozhranie človeka so strojom, preto by mal obsahovať nasledujúce funkcie:

- zobrazenie aktuálneho stavu stroja,
- zobrazenie očakávaného kroku,
- zobrazenie správ a alarmov,
- zmena vyrábaných modulov,
- možnosť voľby rôznych kombinácií vyrábaných modulov,
- umožní nezávislý pohyb ľubovoľnými časťami stroja (motory, pneumatické valce, nitovačky),
- umožní prepisovanie starých pozícií novými polohami,
- rozlíši prístupové práva do rozdielnych úrovní,
- zobrazí počítadla vyrobených kusov vrátane možnosti ich vynulovania,
- umožní zmenu technologických parametrov.

Konkrétna šablóna vzhľadu obrazoviek nie je presne stanovená, dôležitá je však prehľadnosť a jednoduchá orientácia v jednotlivých obrazovkách.

3.1.4 Technologické parametre

Do tejto oblasti patria predpisy, ktoré je nutné dodržať pre správnu montáž dielov a zachovanie prevádzkyschopnosti stroja. Jedným z nich je sila, akou sa musí čap roznitovať. Tá je odvodená od tlaku vzduchu, ktorý musí byť minimálne 5 bar. K tomu slúži snímač tlaku vzduchu, ktorý túto spodnú hranicu kontroluje. Ďalej je stanovený čas nitovania čapu na minimálnu hodnotu 1,5 s, aby došlo k pevnému spojeniu oboch materiálov. Tento parameter bude možné meniť aj z operátorského panela.

Pre zabezpečenie bezchybného stavu nitovacieho nástroja je stanovená jeho výmena po 300.000 vyrobených kusoch. Taktiež sa bude dať táto hodnota editovať v prípade iného nástroja.

3.2 Popis systému pomocou UML diagramov

Pre popis funkcií a návrh systému existujú textové, tabuľkové, alebo grafické metódy. Grafická metóda je prehľadná a UML (a nielen tento jazyk) umožňuje detailne popísať štruktúru a chovanie systému.

Pre popis štruktúry systému slúžia:

- diagramy balíčkov,
- diagramy tried,
- diagramy objektov,
- diagramy zložených štruktúr,
- diagramy komponent,
- diagramy nasadenia.

Popis chovania systému zabezpečujú:

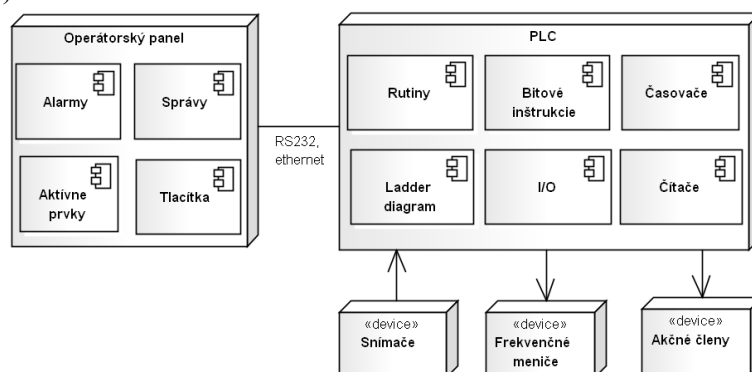
- diagram prípadov použitia,
- diagramy aktivít,
- diagramy stavových prechodov,

- komunikačné diagramy,
- sekvenčné diagramy,
- časovacie diagramy,
- diagramy prehľadov interakcií.

Typ diagramu sa volí podľa toho, aby čo najlepšie zdokumentoval daný problém.

3.2.1 Diagram pre popis štruktúry

Pre popis štruktúry daného systému slúži diagram nasadenia. Popisuje fyzické rozmiestnenie hardvéru, prepojenie jednotlivých prvkov a obsahuje komponenty, ktoré budú využité pri tvorbe programu (Obr. 10).

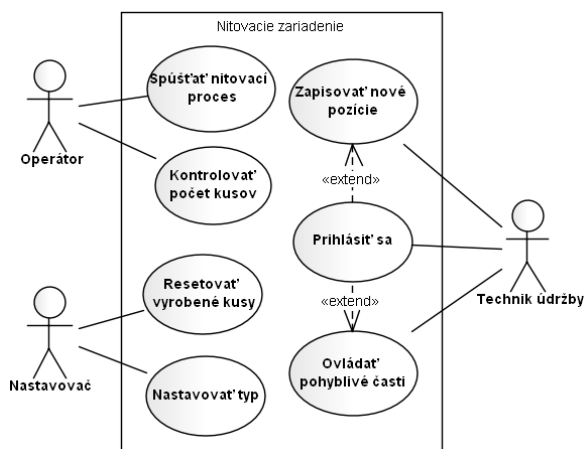


Obr. 10 Diagram nasadenia

Pre komunikáciu obsluhy s panelom budú slúžiť vytvorené správy, alarmy, tlačidlá, a rôzne aktívne prvky. Tieto dáta budú posiadané po vedení z a do automatu. V ňom sa budú spracovávať signály zo snímačov, tlačidiel, panela a iných dátových zdrojov pomocou bitových inštrukcií, časovačov, čítačov a iných vstavaných funkcií.

3.2.2 Diagramy pre popis chovania

Vzhľadom na to, že zadaná úloha je prevažne sekvenčného charakteru, vhodný popis pre systém je pomocou diagramov pre popis chovania.

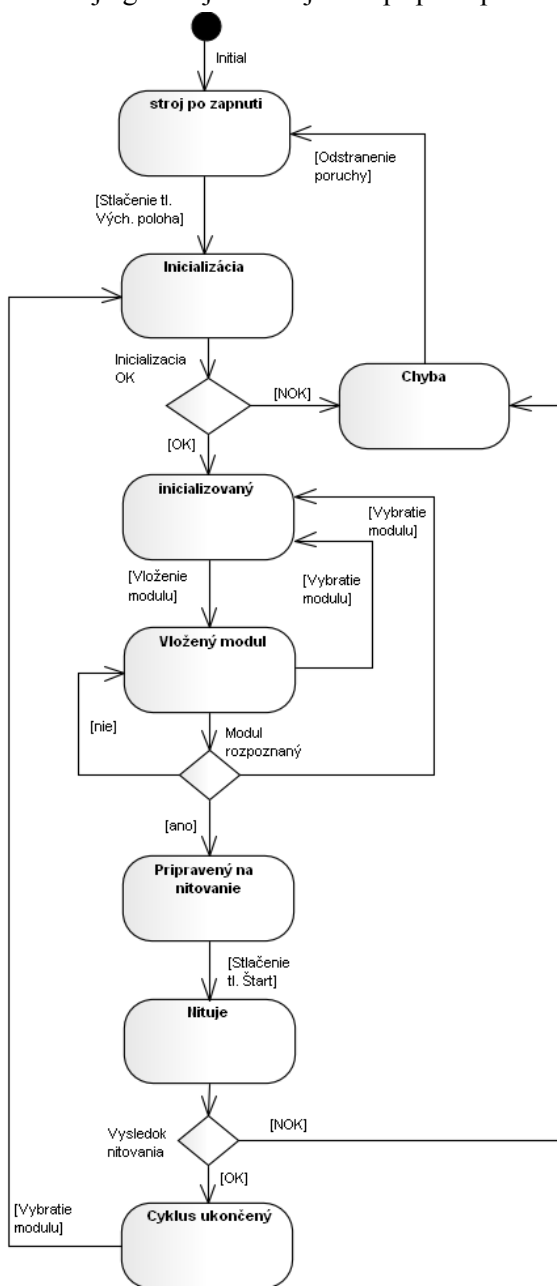


Obr. 11 Diagram prípadov použitia

Diagram prípadov použitia zobrazuje vzťah užívateľa a stroja. Naznačuje základné funkcie (prípady použitia) zariadenia (Obr. 11).

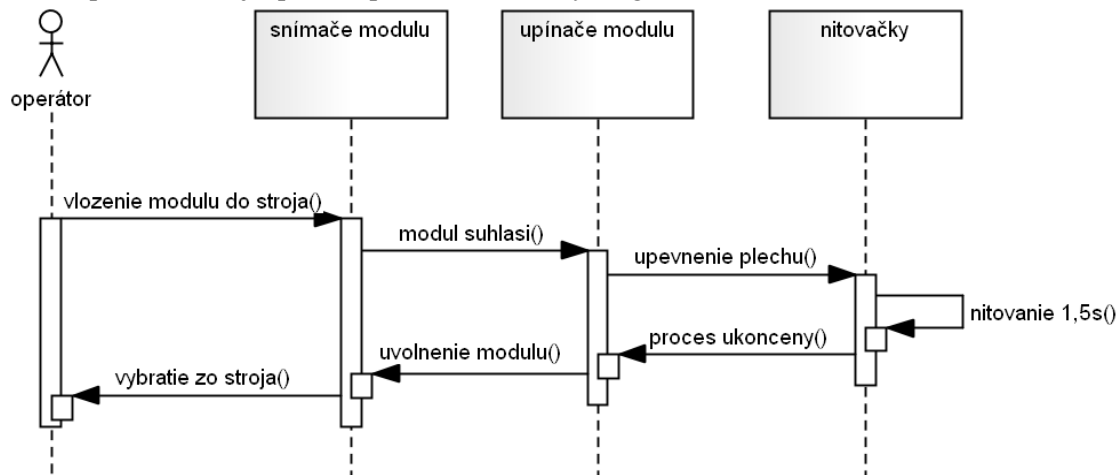
Operátor môže spúšťať nitovací proces a kontrolovať počet vyrobených kusov. Zriaďovač nastavuje typ, prípadne kombináciu modulov do výroby. Technik má možnosť sa prihlásiť pod heslom, zapisovať nové pozície a pohybovať motormi. Posledné dve funkcie sú podmienené prihlásením sa.

Každý z prípadov použitia má vlastný graf, ktorý dokumentuje stavy a deje, ktoré v ňom prebiehajú. Keďže úloha je prevažne sekvenčná, najlepšie sú kroky v systéme popísané stavovými a sekvenčnými grafmi. Na Obr. 12 je graf najdôležitejšieho prípadu použitia – nitovacieho procesu.



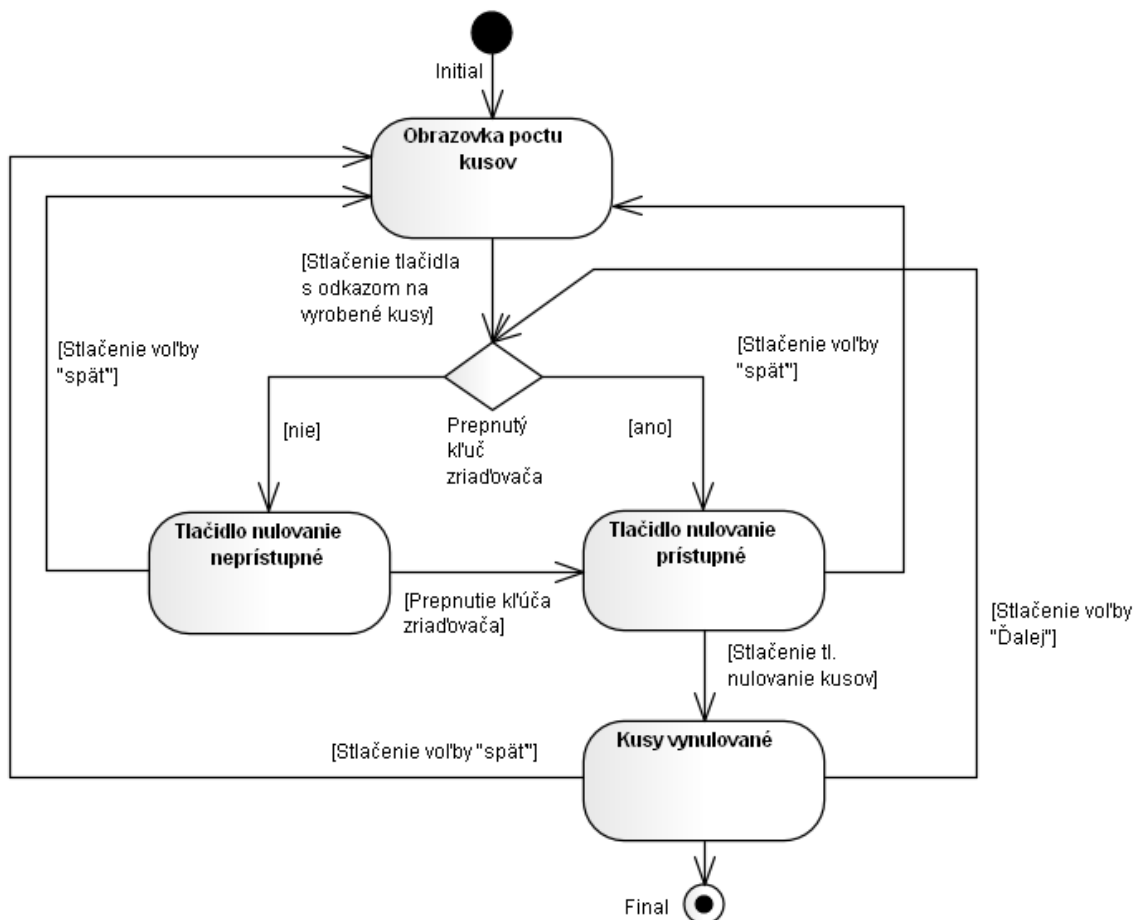
Obr. 12 Stavový graf nitovacieho procesu

Z Obr. 12 je poznať následnosť celého nitovacieho procesu. Kroky postupujú jeden za druhým v presnom poradí. Jasnejší pohľad ponúka sekvenčný diagram na Obr. 13.



Obr. 13 Sekvenčný diagram nitovacieho procesu

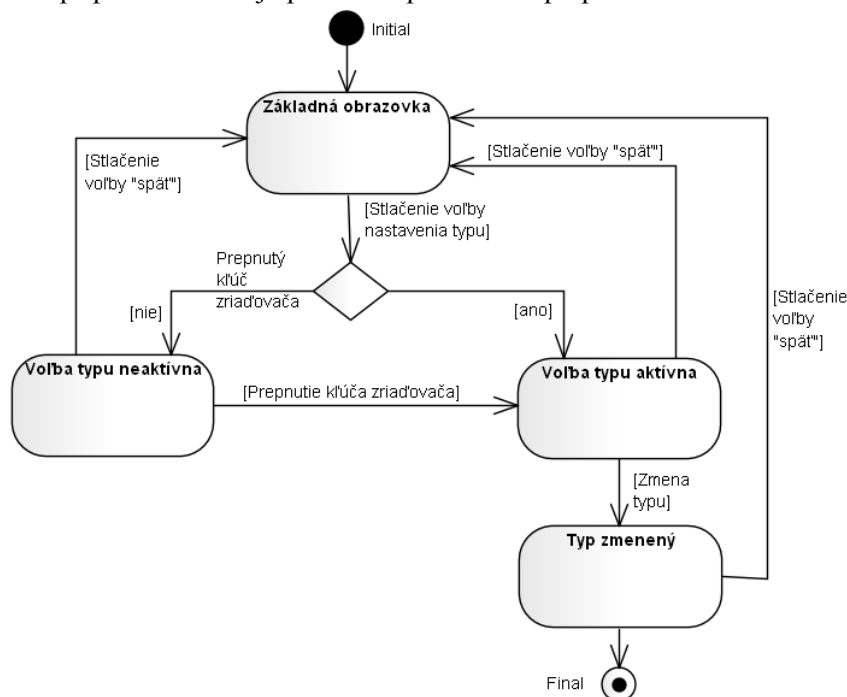
Podľa zadaných požiadaviek postupujú kroky v presnom poradí. Po vložení modulu sa skontroluje typ, potom sa modul zaistí a nituje 1,5 s. Po zanitovaní sa spätne modul uvoľní a operátor ho môže vybrať.



Obr. 14 Stavový diagram nulovania vyrobených modulov

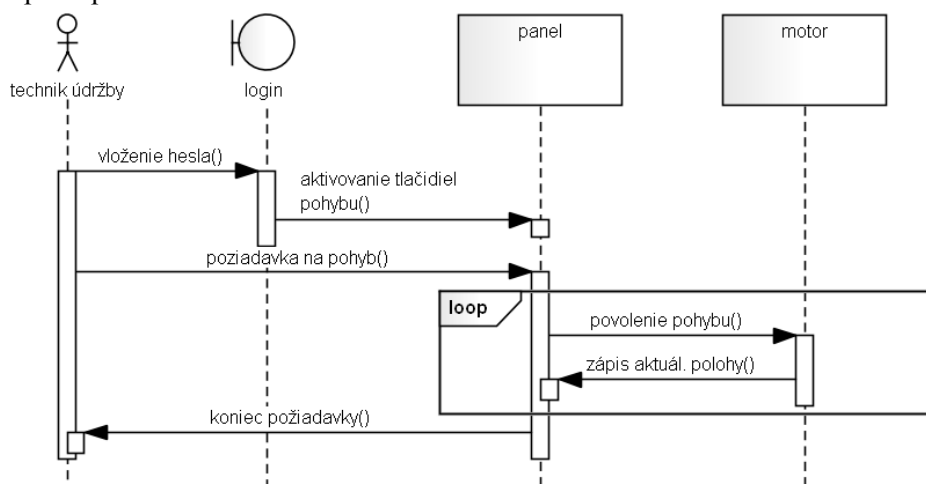
Ďalší prípad použitia – kontrola počtu kusov – je v stavovom diagrame spojený s nulovaním týchto hodnôt (Obr. 14). Diagram sa začína priamo v stave kontroly kusov, keďže samotný úkon spočíva len vo výbere danej položky v operátorskom paneli. Rozhodujúcim faktorom pre povolenie prístupu k tejto funkcii je podmienka prepnutého kľúča. V opačnom prípade je povolené len prezeranie.

Pre zmenu vyrábaného kusu je na Obr. 15 stavový diagram. Štruktúra je podobná ako v predchádzajúcom prípade. Taktiež je podstatná podmienka prepnutého kľúča.



Obr. 15 Stavový diagram výberu kusov do výroby

Diagram sa začína na základnej obrazovke operátorského panela. Po zvolení voľby zmeny kusu je táto funkcia viditeľná, nie je však prístupná. Po prepnutí kľúča do správnej polohy sa tlačidlo resetovania sprístupní.



Obr. 16 Sekvenčný diagram manuálneho pohybu pohonov

Posledný z prípadov použitia, ktorý je popísaný pomocou UML je manuálne ovládanie motorov, pneumatických valcov a nitovačiek. Zobrazuje princíp sprístupnenia tejto funkcie. Slučka v diagrame naznačuje, že operátor bude mať neustále prehľad o aktuálnej polohe každého motora.

Prípady použitia „prihlásenie“ a „zapisovanie pozícií“ sú jednoduchou nadstavbou namodelovaných funkcií. Vo väčšine operátorských panelov je vstavaná možnosť rozlišovania prístupových práv a zápis aktuálnych pozícií bude reprezentované tlačidlom.

Navrhnuté modely vytvárajú detailnejšiu predstavu o funkciách systému a jeho chovaní počas výroby.

4 Návrh riadiaceho systému

Pri výbere riadiaceho systému reálnej aplikácie treba brať do úvahy nielen technické požiadavky na zariadenie, ale aj ekonomickú stránku a požiadavky zákazníka. Medzi základnými požiadavkami na riadiaci systém dominuje - s ohľadom na sklad náhradných dielov zákazníka - použitie riadiaceho systému výlučne značky Allen Bradley. Tým sa návrh zužuje na niekoľko výkonnostných rád a typov v jednotlivých triedach. Z ekonomického hľadiska je nutné neprekročiť zákazníkom stanovenú maximálnu sumu za nákup technických prostriedkov. Konečná zostava musí byť v plnom rozsahu schopná riadiť všetky súčasti zariadenia a požadované funkcie.

4.1 Požiadavky na hardware

Nároky na technické vybavenie je možné podľa ich charakteru rozdeliť do niekoľkých skupín:

- rozmery zariadenia,
- prevedenie,
- výpočtový výkon,
- charakter vstupných signálov
- charakter výstupných signálov,
- komunikácia s ďalšími zariadeniami,
- špeciálne funkcie (HSC...).

Automat bude osadený v elektrickom rozvádzači na DIN lište. Najvhodnejšie teda bude vybrať automat s rovnakou možnosťou osadenia. Priestor vyhradený pre PLC je približne 80 x 30 cm, čo ponúka dostatočný priestor pre umiestnenie aj rozsiahlejšej konfigurácie. Nejedná sa o distribuovaný systém, teda všetky vstupno-výstupné moduly sa budú nachádzať v rozvádzači. Konkrétnejší prehľad vstupov a výstupov je v kapitolách 4.1.1 a 4.1.2. Komunikácia s operátorským panelom môže prebiehať na niektorej z podporovaných sériových zberníc, prípadne po ethernet. Výber vhodnej zbernice závisí od potrebnej rýchlosti komunikácie (objemu prenášaných dát) a nákladmi na komunikačný modul. V ideálnom prípade je možné použiť na komunikáciu výrobcom implementovanú sériovú zbernicu bez nutnosti rozširovania konfigurácie.

4.1.1 Vlastnosti vstupných signálov

Vlastnosti vstupných signálov sú jedným z najdôležitejších kritérií, ktoré rozhodujú o výbere automat. Medzi hlavné parametre patria:

- typ signálu,
- výstupné napätie,
- rýchlosť zmeny signálu,
- celkový počet vstupov.

Prehľad všetkých spracovávaných signálov je v **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** Vo väčšine vstupov dominuje jednosmerný signál s nominálnym napätím 24 V. Ide o štandardný výstup priemyselných snímačov. Celkom je potrebných 71 digitálnych vstupov pre napätie 10÷30 VDC.

Druhý typ signálu, ktorý je nutné spracovať je vysokorýchlostný výstup z inkrementálnych snímačov pohybu (kap. 2.3.3). Dôležitým parametrom je v tomto prípade frekvencia výstupných impulzov. Pri snímačoch rotačných pohybov s motormi Siemens a maximálnymi otáčkami 2830 ot./min pri napájaní napätím s frekvenciou 50 Hz, a 256-imi impulzmi na jednu otáčku hriadeľa motora bude výstupná frekvencia každého z kanálov A a B 12,074 kHz. [4][6]

Pri snímači horizontálneho pohybu sa perióda výstupného napätia každého kanálu opakuje každých 0,5 mm (rozlíšenie magnetickej pásky je 0,25 mm). Rovnako je to aj pri snímači horizontálneho pohybu, je však použitý iný typ pohonu, preto aj rýchlosť pohybu bude odlišná.

Maximálne otáčky motora horizontálneho pohybu sú 1420 ot./min pri napájaní napätím 50 Hz. Pri použití prevodu rotačného pohybu na lineárny so stúpaním 5 mm/ot. je možné dosiahnuť maximálnu rýchlosť pohybu 118,33 mm/s. S touto rýchlosťou a opakovaním periódy signálu každých 0,5 mm je výsledná maximálna frekvencia každého kanála 236,66 Hz. [6][8]

Vertikálny pohyb ľavého závesu je ovládaný motorom s maximálnymi otáčkami 2830 ot./min pri napájaní 50 Hz. S prevodovkou so zdvihom 0,25 mm/ot. je výsledná maximálna rýchlosť zdvihu 11,79 mm/s. Pri opakovaní periódy každých 0,5 mm je maximálna výsledná frekvencia každého kanálu 23,58 Hz. [6][7]

Uvedené výsledky poukazujú na nutnosť použiť rozširujúci modul s vysokorýchlostnými čítačmi. Hoci niektoré automaty obsahujú takéto vstupy aj v základnej výbave, frekvencia ich obnovovania je závislá od času trvania vykonávania programu. Pri rozsiahlejších úlohách môže dôjsť k vynechaniu niektorých pulzov. Bežný čas jedného cyklu programu býva 10 ms. Pri použití vstavaného čítača privedením signálu s frekvenciou 236,66 Hz na takýto vstup vznikne potreba vzorkovať tento signál podľa Shannon-Kotelnikovho teorému s frekvenciou minimálne 474 Hz, čiže aspoň každých 2,11ms. V uvedenom prípade by dochádzalo k strate pulzov a k chybnému vyhodnoteniu vzdialenosti.

Rýchlosti pohybov jednotlivých častí zariadenia môžu byť samozrejme v skutočnosti nižšie, je však potrebné pri výbere vhodného čítača rátať s maximálnymi hodnotami.

4.1.2 Vlastnosti výstupných signálov

Medzi hlavné vlastnosti výstupných signálov patria ovládacie napätie a prúd odoberaný zariadením. V Tab. 2 je prehľad použitých prístrojov s hlavnými elektrickými parametrami.

Zariadenie	Typ	U_n [V]	I_{max}
LED dióda	ZBV B3	24 VDC	18mA
LED dióda	ZBV B1	24 VDC	18mA
LED dióda	ZBV B4	24 VDC	18mA
LED maják	PATLITE LES	24 VDC	20mA
LED maják	PATLITE LES	24 VDC	25mA
LED maják	PATLITE LES	24 VDC	25mA
Stýkač	SIEMENS 3RT1015-1BB41	24 VDC	137 mA
Stýkač	SIEMENS 3RT1015-1BB41	24 VDC	137 mA
Stýkač	SIEMENS 3RT1015-1BB41	24 VDC	137 mA
Stýkač	SIEMENS 3RT1015-1BB41	24 VDC	137 mA

Regulátor výkonu	SKIPALA DIGR 1200/E	24 VDC	50mA
Regulátor výkonu	SKIPALA DIGR 1200/E	24 VDC	50mA
Frekvenčný menič	CIMR-JZA-B0P2	24 VDC	8mA
Frekvenčný menič	CIMR-JZA-B0P2	24 VDC	8mA
Frekvenčný menič	CIMR-JZA-B0P2	24 VDC	8mA
Frekvenčný menič	CIMR-JZA-B0P2	24 VDC	8mA
Frekvenčný menič	CIMR-JZA-B0P2	24 VDC	8mA
Frekvenčný menič	CIMR-JZA-B0P2	24 VDC	8mA
Frekvenčný menič	CIMR-JZA-B0P4	24 VDC	8mA
Frekvenčný menič	CIMR-JZA-B0P4	24 VDC	8mA
Frekvenčný menič	CIMR-JZA-B0P4	24 VDC	8mA
Frekvenčný menič	TELEMECANIQUE ATV71 HU22M3	24 VDC	7mA
Frekvenčný menič	TELEMECANIQUE ATV71 HU22M3	24 VDC	7mA
Frekvenčný menič	TELEMECANIQUE ATV71 HU22M3	24 VDC	7mA
Ventilový terminál	VMPA2-M1H-G-PI	24 VDC	99 mA
		24 VDC	99 mA
Ventilový terminál	VMPA2-M1H-G-PI	24 VDC	99 mA
		24 VDC	99 mA
Ventilový terminál	VMPA1-M1H-J-PI	24 VDC	80 mA
		24 VDC	80 mA
Ventilový terminál	VMPA1-M1H-J-PI	24 VDC	80 mA
		24 VDC	80 mA
Ventilový terminál	CPE18-M1H-5L-1/4	24 VDC	62mA
Ventilový terminál	CPE18-M1H-5L-1/4	24 VDC	62 mA
Ventilový terminál	VMPA1-M1H-J-PI	24 VDC	80 mA
		24 VDC	80 mA

Tab. 2 Tabuľka výstupov [9][10][11][12][13][14][15][16]

Z Tab. 2 vyplývajú požiadavky na elektrické vlastnosti výstupov. Všetkých 36 zariadení má pracovné napätie 24 V DC. Maximálny prúdový odber je 1865 mA.

4.2 Výber hardvéru

Rockwell Automation ponúka niekoľko výkonnostných tried programovateľných logických automatov:

- Pico,
- MicroLogix,
- SLC 500,
- PLC 5,
- CompactLogix,
- ControlLogix.

Pico je najnižšia rada predávaných automatov. Je vhodný pre jednoduché aplikácie, nevyžadujúce väčší počet vstupov a výstupov. Procesor ponúka maximálne 12 digitálnych vstupov a prídavné moduly obsahujú max. 12 vstupov. S počtom 71 požadovaných vstupov a 36 výstupov je tento systém nevhodný.

MicroLogix obsahuje širokú ponuku typov automatov a prídavných modulov. Podľa typu je možné pripojiť až 512 I/O.

SLC 500 a PLC 5 sú staršie typy automatov a v súčasnosti ich nahrádzajú novšie typy CompactLogix a ControlLogix. Obidva patria do najvýkonnejších rád a pre menšie aplikácie je ich výkon nevyužitelný a predražený. Výber sa bude orientovať v rade MicroLogix, ktorá ponúka 5 sérii automatov:

- MicroLogix 1000
- MicroLogix 1100
- MicroLogix 1200
- MicroLogix 1400
- MicroLogix 1500.

Pri výbere triedy rozhoduje počet vstavaných vstupov a výstupov, možnosť rozšírenia o ďalšie moduly, počet vstavaných, prípadne možnosť doplnenia externých vysokorýchlostných čítačov, ako aj maximálna frekvencia vstupného signálu. Prehľad základných vlastností je v Tab. 3.

	ML1000	ML1100	ML1200	ML1400	ML1500
Vstavané I/O max.	32	16	40	32	28
Externé I/O max.	N/A	144	96	256	512
Vstavané vysokorých. čítače	1 (6,6 kHz)	1 (40 kHz)	1 (20 kHz)	6 (100 kHz)	2 (20 kHz)
Externé vysokorých. čítače	N/A	N/A	N/A	N/A	2 (250 kHz 1769-HSC)

Tab. 3 Prehľad základných vlastností automatov MicroLogix [17][18]

Pre danú aplikáciu sú potrebné 4 vysokorýchlostné čítače, 71 digitálnych vstupov a 36 digitálnych výstupov. Z Tab. 3 vyplýva, že použiteľné automaty sú len typy MicroLogix 1400 a MicroLogix 1500. Zvyšné 3 obsahujú len 1 vysokorýchlostný čítač bez možnosti ich doplnenia rozširujúcimi modulmi.

Najvýhodnejším riešením je MicroLogix 1400, keďže nevyžaduje doplnenie externých vysokorýchlostných vstupov. Bolo však rozhodnuté o použití MicroLogix 1500. Prvým dôvodom je jeho veľké zastúpenie vo firme a tým pádom aj v sklade náhradných dielov. Druhým dôvodom je nutnosť aktualizovať programovací softvér pre MicroLogix 1400, keďže sa jedná o novší typ procesora a tým pádom o dodatočné náklady.

4.2.1 Špecifikácia komponentov

Výber hardvéru musí zodpovedať požiadavkám na elektrické vlastnosti vstupných a výstupných signálov ako aj ich počet.

Pri tejto rade je procesor osadený v základnej jednotke. Obe časti sa konfigurujú zvlášť. Výhodou je možnosť voliť typ procesora a základnej jednotky nezávisle na sebe a vybrať si tak najvýhodnejšiu kombináciu. V Tab. 4 je charakteristika možných základných jednotiek.

	1764-24AWA	1764-24BWA	1764-28BXB
Napájacie napätie	240V AC	240V AC	24 DC
Vstupy	12 x 120V AC	16 x 24V DC	16 x 24 VDC
Výstupy	12 x reléový	12 x reléový	6 x reléový 6 x 24 VDC FET

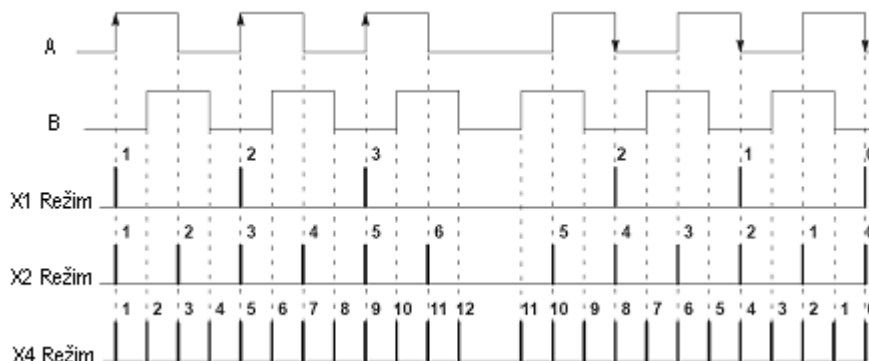
Tab. 4 Základné jednotky série MicroLogix 1500 [17]

Najvyhovujúcejšia je 1764-28BXB, keďže má najviac výstupov a len polovica je reléových. Tie pri častom, alebo rýchlom spínaní podliehajú opotrebeniu. Všetky vstupy majú vstupné napätie 24 V DC. Samotná základná jednotka obsahuje RS-232 komunikačný port. Služi k programovaniu, prípadne k pripojeniu ďalšieho zariadenia.

Procesory sú na výber 2 – 1764-LSP a 1764-LRP. Oba sú takmer identické, rozdiel je v ďalšom RS-232 porte priamo na procesore. Ten môže byť použitý na komunikáciu s operátorským panelom.

Vysokorýchlostné čítače obsahuje jediný typ rozširovacích modulov – 1764-HSC. Umožňuje počítanie pulzov až do 1 MHz. Obsahuje 4 čítače pulzov, prípadne 2 čítače dvojkanálových vstupov (kvadrátne modulovaných signálov). Modul obsahuje 6 vysokorýchlostných vstupov označených A0, A1, B0, B1, Z0 a Z1. Vnútorne čítače dokážu s týmito vstupmi pracovať v 6 režimoch:

- *pulse/external direction* – na vstup A sú privedené pulzy a vstup B určuje o smere počítania,
- *pulse/internal direction* – rovnaký ako predchádzajúci režim, ale smer počítania určuje premenná čítača „direction invert bit“,
- *X1 quadrature encoder input* – na vstup A aj B sú privedené pulzy, pričom smer počítania je určený fázovým posuvom jednotlivých kanálov; pulzy sa počítajú vždy len s nábežnou hranou kanálu A,
- *X2 quadrature encoder input* – rovnaký ako predchádzajúci, ale pulzy sa pripočítavajú pri každej nábežnej a dobežnej hrane vstupu A,
- *X4 quadrature encoder input* – rovnaký ako predchádzajúce 2 režimy, ale pulzy sa počítajú pri každej zmene stavu obidvoch vstupov, tzn. pri nábežných aj dobežných hranách signálov. [18]



Obr. 17 Režimy práce vnútorných čítačov [18]

Ako vidieť z Obr. 17, posledný z režimov umožňuje najpresnejšie snímanie polohy motorov. Pri oneskorenom vstupe B voči vstupu A je hodnota v čítači zvýšená o hodnotu +1, v opačnom prípade je hodnota znížená o 1. Hodnota akumulátora v čítači sa mení pri každej zmene ktoréhokoľvek vstupu. Pri použití tejto funkcie je možné mať v jednom module iba 2 čítače, preto budú v zostave 2.

Moduly digitálnych vstupov so vstupným napätím 24 V DC sa vyrábajú v 2 prevedeniach – 16-vstupové a 32-vstupové. Základná jednotka má 16 vstavaných vstupov, takže do konfigurácie sú potrebné ešte dva 32-vstupové digitálne moduly. Celkový počet možných pripojiteľných signálov je tak 80. Keďže sa ale výroba plánuje rozšíriť o ďalšie dva vyrábané typy automobilov, je pridaný ešte jeden modul so 16-imi vstupmi.

V podobných variantoch sú ponúkané aj moduly výstupov. S použitím reléových výstupov na základnej jednotke sa nepočíta, keďže sú rýchlejšie opotrebitelnejšie ako tranzistorové. Využitelných teda ostáva 6. Pri potrebnom počte 36 digitálnych výstupov sú do zostavy vybrané 3 moduly so 16-imi výstupmi. Takto ponúkajú dostatočnú rezervu aj pri rozšírení výroby. Maximálny dovolený prúd tečúci cez jeden výstup je 1A pri 30 °C a 0,5 A pri 60 °C. Maximálny prúd tečúci cez celý modul je 8 A pri 30 °C a 4 A pri 60 °C. Tým pádom je splnená podmienka prúdového odberu 1865 mA pre všetky výstupy. [19]

Pri konfigurovaní zostavy je dôležité dodržať maximálny prúdový odber zbernice. Podľa dokumentácie výrobcu je stanovený maximálny odber všetkých modulov vrátane procesora 2250 mA pri napätí zbernice 5 VDC a 400 mA pri napätí zbernice 24 VDC. Jednotlivé odbery sú v Tab. 5.

	Odber prúdu zo zbernice 5 VDC [mA]	Odber prúdu zo zbernice 24 VDC [mA]
1764-LRP	380	0
1769-HSC	425	0
1769-HSC	425	0
1769-IQ32	170	0
1769-IQ32	170	0
1769-IQ16	115	0
1769-OB16	200	0
1769-OB16	200	0
1769-OB16	200	0
Suma	2285	0
Maximálny odber	2250	400

Tab. 5 Prúdové odbery modulov zo zbernice [17]

Ako je zrejmé z Tab. 5, celkový prúd odoberaný zo zbernice všetkými modulmi prekračuje maximálny stanovený limit. Preto je nutné do konfigurácie zaradiť aj zdroj napätia. Pre 24 V DC sú vyrábané 2 typy – 1764-PB2 a 1764-PB4. Číslo na poslednom mieste znamená prúd zdroja pri napätí 5 V. Pre zabezpečenie stability prúdu postačí zdroj schopný dodať 2 A pri 5 V, preto bude súčasťou konfigurácie 1764-PB2.

Použitie doplnkového napájania zbernice pri rade MicroLogix 1500 si vyžaduje rozdelenie celej zostavy a použitie prepojovacieho kábla s terminátormi na oboch stranách (Obr. 18). Na jednej zbernici sa nesmú nachádzať 2 zdroje napätia, keďže ML1500 má vlastný vstavaný zdroj v základnej jednotke. Rovnako je nutné použiť ukončenie zbernice aj na konci zostavy modulom 1764-ECR. [17][20]



Obr. 18 Princíp doplnenia konfigurácie zdrojom napätia s použitím prepojovacieho kábla [17]

5 Návrh operátorského rozhrania systému

HMI prostriedky slúžia na komunikáciu človeka so zariadením. V tomto prípade bude pre minimum ovládacích prvkov ako tlačidlá a kontrolné svetlá na stroji väčšina funkcií realizovaných pomocou operátorského panela.

Na trhu je veľké množstvo operátorských panelov. V súčasnosti je možné vybrať od najjednoduchších textových displejov cez dotykové farebné panely až k panelom s operačným systémom, prípadne so vstavaným automatom. Výber závisí od požiadaviek konkrétnej aplikácie. Je však zrejme, že najvýhodnejším riešením bude grafický panel.

5.1 Prehľad možných riešení

V ponuke grafických operátorských panelov Allen Bradley sú 3 základné skupiny:

- PanelView Plus,
- PanelView Standard,
- PanelView Component.

PanelView Component je najnižšia rada zobrazovacích displejov pre použitie s automatmi MicroLogix do 100 premenných. Ovládanie je pomocou tlačidiel, alebo dotykovou obrazovkou. Programuje sa pomocou internetového prehliadača, keďže vývojový softvér je priamo obsiahnutý v paneli.

PanelView Standard je oproti typu „Component“ vyššia trieda zobrazovacích panelov. Ponúkané sú monochromatické i farebné verzie v rôznych veľkostiach, s ovládaním pomocou tlačidiel alebo s dotykovou obrazovkou. Programovanie prebieha pomocou softvéru Panel Builder32.

PanelView Plus je najnovšia rada panelov, obsahujúcich Windows CE a softvér RSView Machine Edition. Na rozdiel od série „Standard“ je možné vytvárať grafy a zaznamenávať dáta. Vyrábajú sa verzie od veľkosti uhlopriečky 4“ až po 15“ varianty s možnosťou voľby ovládania panela, napájacieho napätia a komunikácie. V Tab. 6 je prehľad vyrábaných veľkostí panelov tejto rady.

	400 mono	600 mono	600 color	700 color	1000 color	1250 color	1500 color
Rozmery	152x185	152x185	152x185	179x246	248x329	282x363	330x416
Napájanie	230VAC/ 24VDC	230VAC / 24VDC	230VAC/ 24VDC	24VDC	24VDC	24VDC	24VDC
Ovládanie	Klávesnica	Klávesnica, Klávesnica / Dotyková obrazovka, Dotyková obrazovka					

Tab. 6 Prehľad panelov série PanelView Plus [21]

5.2 Výber operátorského panela

Pri výbere správneho panela je nutné vziať do úvahy požiadavky na funkcie, veľkosť panela, množstvo zobrazovaných informácií, spôsob ovládania, ale aj druh napájania, komunikačné rozhranie a dostupný priestor.

Ako jediný komunikačný a ovládací prvok na zariadení (okrem ovládacích tlačidiel, ktoré však obsluhujú len základné funkcie) je dôležitá jeho prehľadnosť a jednoduchosť ovládania.

Dosiahnutie čo najvyššej prehľadnosti je možné tromi spôsobmi. Jeden je výber väčšej uhlopriečky obrazovky panela, čo však zvyšuje náklady. Druhý spôsob je efektívnejšie využiť ponúkaný priestor na obrazovke a nezahliť ju nepodstatnými informáciami. Navyše, pri obmedzenom priestore, ako v tomto prípade, je výber veľkej obrazovky nemožný. Tretí spôsob je použiť farebný displej, namiesto monochromatického.

Zabezpečenie jednoduchosti ovládania je samozrejme z prevažnej väčšiny úlohou programátora, avšak veľký podiel má aj spôsob ovládania panela. Zo skúseností firmy je pre operátora najintuitívnejšie ovládanie pomocou dotykovej obrazovky. Odpadá nutnosť hľadať k funkciám príslušné tlačidlá na klávesnici, pretože všetky sa vyvolávajú priamo na displeji. Tým sa čiastočne ušetrí miesto pre klávesnicu a teoreticky umožní aj výber väčšej uhlopriečky obrazovky..

Výber konkrétneho panela musí samozrejme brať do úvahy aj pripomienky a návrhy zákazníka. Jednou z nich je použiť takú variantu, ktorá sa už v nejakej aplikácii u zákazníka vyskytuje. Tým sa výber zúži na 4 typy:

- PanelView Standard 300 Micro,
- PanelView Standard 300,
- PanelView Plus 600 color,
- PanelView Plus 1500 color.

Prvé dve varianty sú najmenšie displeje v ponuke s monochromatickou obrazovkou a rozlíšením 128 x 64 bodov. Ovládanie je pomocou klávesnice. Tieto panely sú pre danú aplikáciu nevhodné pre malé rozmery a neprehľadný displej.

Ďalšie 2 panely sú farebné a majú dotykovú obrazovku. Prehľadnosťou vyhovujú obidva, ale PanelView Plus 1500 je rozmerovo príliš veľký. Tým pádom je konečnou variantou PanelView Plus 600 color s dotykovou obrazovkou, bez klávesnice a s napájaním 24 VDC. Komunikačné porty, ktorými použité varianty disponujú sú RS-232 a ethernet.



Obr. 19 Zobrazovací panel PanelView Plus 600 po osadení do elektrického rozvádzača

6 Implementácia a testovanie riadiacej aplikácie

Vytvorenie programu riadiaceho systému je hlavnou súčasťou diplomovej práce. Výsledok tejto časti priamo rozhoduje o konečnej kvalite, prehľadnosti a spoľahlivosti programu a celého zariadenia. Proces vytvorenia funkčného softvéru zahŕňa nasledovné aktivity:

- hardvérová konfigurácia modulov,
- definovanie vstupných a výstupných premenných,
- vytvorenie štruktúry programu,
- písanie kódu subrutín,
- nahranie programu do automatu,
- otestovanie funkčnosti a spoľahlivosti.

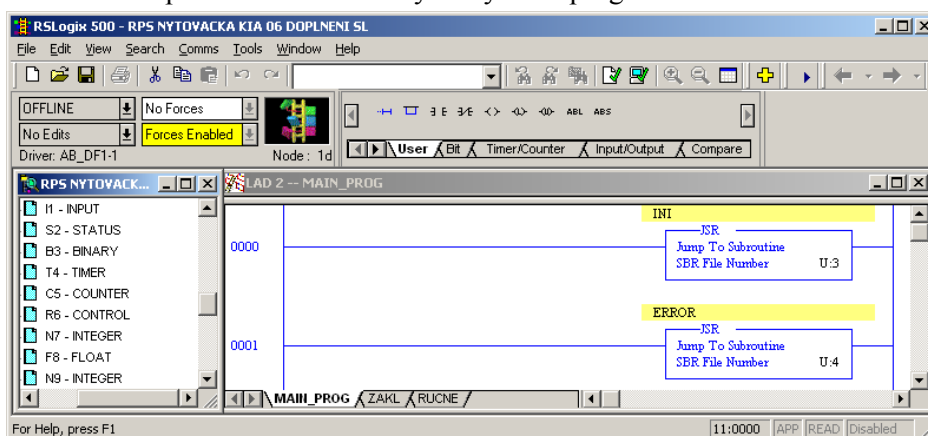
6.1 Vývoj programu

Po teoretickom rozbere systému v kap.3 nasleduje praktická časť, priamo využívajúca jeho závery a výsledky. Niektoré diagramy slúžia okrem objasnenia dejov a vlastností systému zároveň ako „kostra“ programu. Najmä pri vytváraní programu automatického chodu stroja je výraznou pomocou už vytvorený sekvenčný diagram. Jednotlivé kroky sú zhodné s požadovaným reálnym správaním stroja. Tým odpadá vytvorenie novej logiky programu, pričom postačí preloženie diagramu do jazyka automatu.

Vývoj programu zahŕňa činnosti od hardvérovej konfigurácie po písanie kódu subrutín. K tomu slúžia hardvérové a softvérové prostriedky, ako aj vedomosti a skúsenosti programátora.

6.1.1 Softvérové prostriedky

Pre samotné programovanie automatov triedy MicroLogix 1500 je priamo od výrobcu dodávaný softvér RSLogix 500. Služi pre programovanie všetkých automatov triedy MicroLogix a SLC500. Využíva priečkovú logiku, ktorá vznikla na základe reléových schém a svojou podobnosťou s nimi v histórii uľahčila prechod na riadiace systémy a ich programovanie.



Obr. 20 Programovacie prostredie RSLogix 500

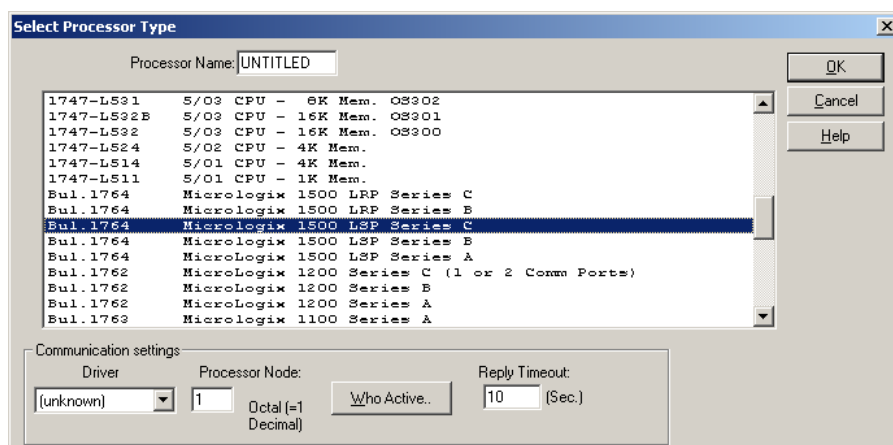
Na rozdiel od štruktúrovaného textu je program oveľa rozsiahlejší, avšak jednoduchší pre pochopenie vnútornej logiky. Ďalšou výhodou je jednoduché a prehľadné monitorovanie programu v on-line režime pri testovaní a ladení.

Ďalší softvér, potrebný pre vznik plnohodnotného programu je RSLinx. Jeho úlohou je sprostredkovanie komunikácie medzi programovacím prostredím a samotným automatom. Uplatňuje sa priamo pri komunikácii softvéru s hardvérom napr. pri nahrávaní programu, on-line editácii, zmene režimu PLC a pod..

6.1.2 Hardvérová konfigurácia

V programovacom prostredí pri zakladaní nového projektu je nutné definovanie použitého hardvéru. Program na základe použitých modulov automaticky generuje tabuľky vstupov a výstupov. Tie je pre použitie v programe možné pomenovať

Prvým krokom je výber procesora. Program ponúka na výber všetky dostupné triedy aj revízie.

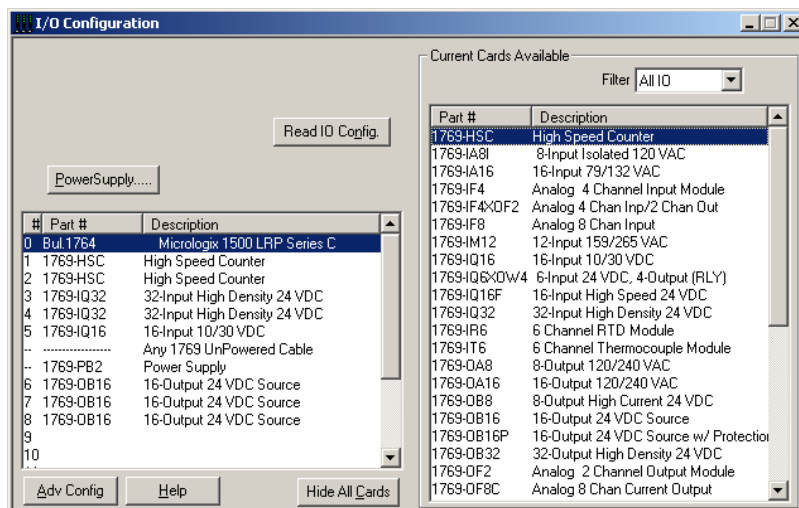


Obr. 21 Voľba procesora pri zakladaní projektu

Potvrdením voľby sa otvára hlavné okno projektu rozdelené na 3 hlavné časti:

- strom projektu – slúži pre rýchly prístup k vlastnostiam procesora, hardvérovej konfigurácii, programovým a dátovým súborom, funkčným súborom a i.,
- programovacie okno – priestor pre písanie kódu jednotlivých subrutín,
- panel nástrojov – obsahuje prvky pre zmenu režimu automatu, pripájanie sa k PLC, nahrávanie programu, zoznamy inštrukcií, nástroje pre vyhľadávanie textu, chýb a pod..

V strome projektu sa nachádza voľba hardvérovej konfigurácie (Obr. 22). Spustením položky sa otvorí okno, v ktorom sú v pravej časti podporované moduly a v ľavej sa samotná zostava vytvára.



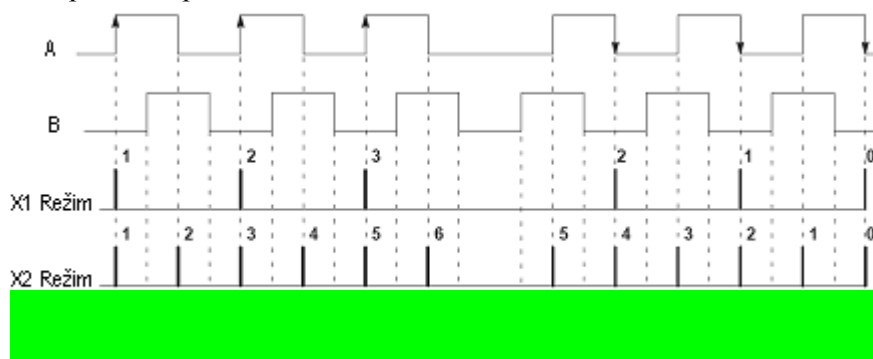
Obr. 22 Hardvérová konfigurácia automatu

Dostupné sú 2 spôsoby – ručné vkladanie a automatické vyčítanie pripojených modulov. Automatický prístup je možný len pri pripojenom automate, preto je aktuálne len ručné vkladanie.

Navolenie všetkých pripojených modulov je potrebné v presnom fyzickom poradí, v akom sa nachádzajú v rozvádzači. Je nutné nadefinovať nielen vstupy a výstupy, ale aj prepojovací kábel zbernice a zdroj napätia, umiestnený za nim.

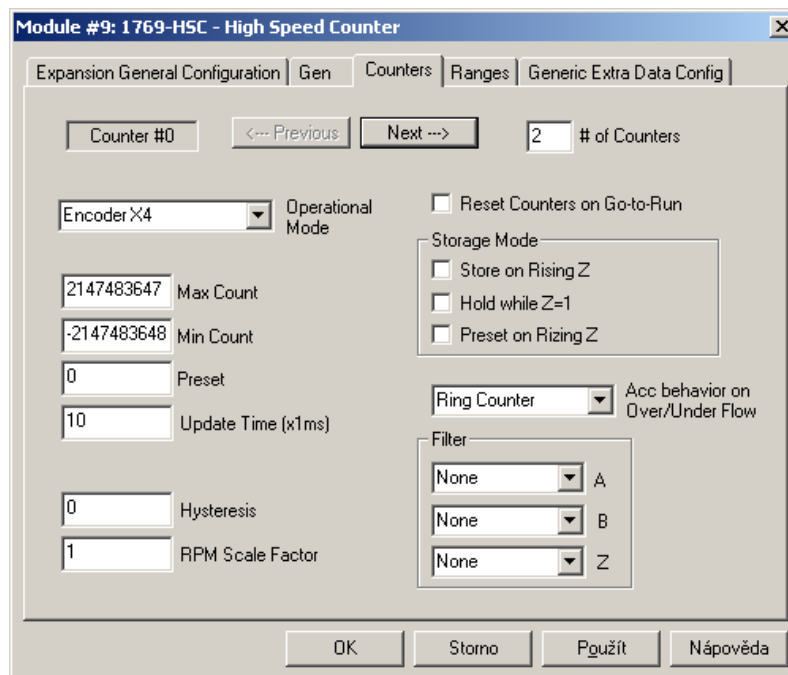
Po vytvorení zostavy nasleduje rozšírená konfigurácia modulov. Tomu zodpovedá predovšetkým nastavenie parametrov vstupov. Pri digitálnych vstupoch je dostupná možnosť filtrovania signálov, predovšetkým odstránenie okolitého rušenia. Dôležité je však nastavenie vysokorýchlostných vstupov.

V kap. 4.2.1 sú opísané jednotlivé režimy práce vnútorných čítačov. Pre potrebu určovania smeru otáčok je možné použiť len režimy X1, X2 a X4. Rozdiely medzi jednotlivými módmí spočívajú hlavne v presnosti polohovania.



Obr. 23 Možnosti počítania vysokorýchlostných vstupov [18]

Najpresnejšie výsledky možno dosiahnuť podľa Obr. 23 poslednou možnosťou. Pre nastavenie parametrov slúži okno rozšírenej konfigurácie. Pre každý modul je samostatné okno a nastavenie je potrebné pre obidva moduly čítačov.



Obr. 24 Okno nastavení vysokorychlostných vstupov

Medzi parametre modulu, ktoré sa dajú nastaviť patria:

- počet použitých čítačov,
- mód počítania (X1, X2, X4, pulse internal direction, pulse external direction),
- rozsah čítača,
- frekvencia obnovovania dát,
- vynulovanie hodnôt po štarte automatu,
- cyklické, alebo lineárne počítanie,
- filtrovanie signálov.

Väčšina parametrov ostáva v pôvodnom nastavení. Dôležité je voľba módu X4 a počet čítačov - 2. Rozsah akumulátora - 32 bitov – je dostatočný a limity nie je potrebné meniť. Rovnako aj perióda obnovovania dát 10 ms je vzhľadom na čas jedného cyklu programu a dosahovanú presnosť dostačujúca. Správanie akumulátora po pretečení rovnako nie je dôležité a môže ostať cyklické, nakoľko pri dostupnom rozsahu a aktívnym vzdialenostiam k jeho pretečeniu fyzicky dôjsť nemôže.

6.1.3 Definovanie vstupov a výstupov

Vstupy a výstupy majú svoj obraz v dátových súboroch O0 – OUTPUT a I1 – INPUT. Adresa konkrétneho vstupu je vyjadrená označením premennej (I - vstup, O - výstup, C – čítač...), pozíciou modulu za procesorom, poradovým číslom slova a číslom bitu. Príklad adresy prvého vstupu na prvej pozícii má formát – I:0/0.

Ku každej adrese je možné pridať symbolický názov. Účelom je zlepšenie orientácie v programe a zvýšenie celkového komfortu programovania. Všetky vstupy a výstupy sú teda pomenované krátkym pojmom, ktorý stručne vystihuje jeho charakter.

Pole vstupov vysokorychlostného čítača obsahuje 35 hodnôt typu „word“. Je rozdelené na 4 rovnaké časti, pričom každá časť zodpovedá jednému zo štyroch čítačov. Obsahuje detailné

informácie o stave fyzických vstupov, aktuálnej hodnote akumulátora, rýchlosti počítania, preťažení vstupov a iné. V úvode programovania je užitočnou premennou aktuálna hodnota akumulátora čítača. Pri nastavení režimu počítania X4 sú na jednom module k dispozícii 2 čítače. Ich akumulátory sú na adresách I1:4 ÷ I1:5 a I1:14 ÷ I1:15. Pomenovanie („HSC0 Count Value“ a „HSC1 Count Value“) oboch čítačov dostatočne vyjadruje charakter premennej. V priebehu programovania môže vzniknúť potreba využiť ďalšie vstupné parametre.

Výstupné pole má rozmer 34 hodnôt rozsahu word a je tiež rozdelené na 4 časti pre každý možný čítač. Aktuálne nie je potrebná žiadna premenná z tohto rozsahu, potenciálne využiteľných prichádza do úvahy 6 fyzických a 12 virtuálnych výstupov na jeden modul.

Pomenovaním reálnych vstupov a výstupov sa proces nekončí, počas vytvárania kódu vznikajú požiadavky na vytváranie nových premenných rôznych rozmerov a vlastností.

6.1.4 Štruktúra programu

Základným prvkom v prostredí RSLogix 500 pre vytvorenie programu sú tzv. subrutiny. Jedná sa o dátové súbory, obsahujúce program v priečkovej logike. Prvé dva súbory sú rezervované a ich obsah nie je možné vytvoriť, mazať, ani premenovať. Obsahujú informácie o type procesora, konfigurácii rozširujúcich modulov, heslo programu a pod.. Samotný program je možné vytvoriť v nových súboroch. Ich počet je obmedzený maximálnym počtom 255 subrutín.

Štruktúra programu je ľubovoľná, mala by však zodpovedať samostatným problematikám zariadenia. Tým sa celý proces delí na menšie celky a programovanie sa zjednodušuje a sprehl'adňuje.

Podľa toho je program rozdelený na nasledujúce časti:

- LAD 2 – MAIN_PROG,
- LAD 3 – INICIALIZACIA,
- LAD 4 – ERROR,
- LAD 5 – ZÁKLADNÁ POLOHA,
- LAD 6 – PODPERA L,
- LAD 7 – PODPERA P,
- LAD 8 – HORIZONTÁL,
- LAD 9 – VERTIKÁL,
- LAD 10 – MERANIE,
- LAD 11 – RUČNE,
- LAD 12 – CYKLUS,
- LAD 13 – VÝROBA,
- LAD 14 – VIBRÁKY,
- LAD 15 – POČÍTADLA,
- LAD 16 – VÝSTUPY.

Názvy jednotlivých subrutín sú v programovacom prostredí samozrejme bez interpunkcie a maximálnej dĺžky 10 znakov, avšak pre úplnosť sú uvedené plné názvy.

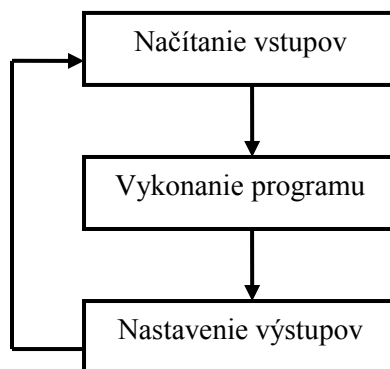
Rozdelenie je predbežné a orientačné. Počas programovania môže vzniknúť potreba novej subrutiny, prípadne sa ukážu niektoré ako prebytočné. To je prirodzene súčasťou vývoja programu.

Striktné držanie sa návrhu vedie ku kľúčovitosti celého procesu a výsledný program sa tým môže skomplikovať a zneprehľadniť.

Pomenovanie subrutín je podľa ich predpokladanej funkcie. V prvej budú inštrukcie, volajúce všetky nasledujúce súbory. Druhá, podľa názvu vyrieši stav stroja po zapnutí a resete, vynuluje premenné a pod... Error zabezpečí hlásenie vzniknutých chýb. Základná poloha bude zabezpečovať návrat všetkých pohyblivých častí do domácich polôh. Ďalšie 4 subrutíny sa budú zaoberať len ovládaním motorov a nastavovaním pozícií. Pomocnou subrutinou bude meranie, kde sa prepočítajú pulzy z vysokorýchlostného čítača na vzdialenosť. Manuálne ovládanie stroja zabezpečí súbor „ručne“. Automatický režim sa vytvorí v súbore – cyklus. Výroba – zabezpečí nastavovanie modulu a ich kombinácie do výroby. V poradí štrnásty súbor bude obsluhovať vibračné zásobníky. Ďalší zabezpečí počítanie vyrobených kusov. Posledný v poradí zabezpečí nastavenie výstupov pre motory. Tým, že je na konci všetkých subrutín, bude mať na stav výstupov rozhodujúci vplyv. To je výhodné hlavne pri motoroch, aby chybou v programe nevznikla havária.

6.2 Rozbor funkcie subrutín

Charakteristickou vlastnosťou automatov je vykonávanie programu v cykloch. To znamená cyklické opakovanie od načítania vstupov, vykonanie vnútorného programu až po nastavenie výstupov (Obr. 25).



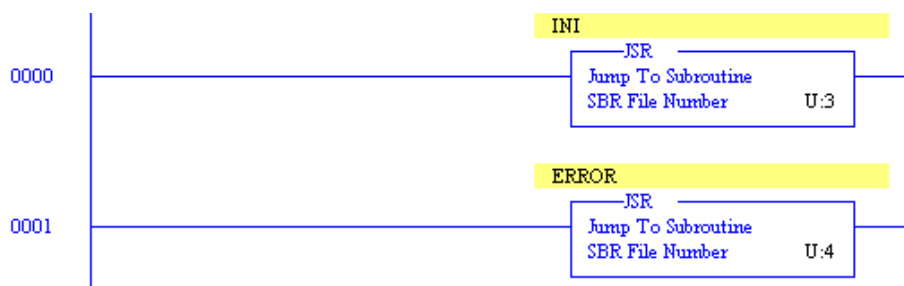
Obr. 25 Princíp činnosti PLC

Pri vykonávaní programu je volaná v poradí prvá subrutína po systémových súboroch – LAD 2, ktorá sa prevažne využíva pre načítanie zvyšných subrutín. Ďalšie programové súbory sú inak bez ich zavolania ignorované.

Proces písania kódu je náročný na čas aj uvažovanie programátora. V praxi neprebíha programovanie „od prvej subrutíny po poslednú“, ale je to zložitý proces postupného dopĺňania nápadov a následného riešenie vzniknutých konfliktov. Nasledujúce kapitoly preto obsahujú rozbor konečnej funkcie jednotlivých súborov.

6.2.1 Subrutína „LAD 2 – Main_prog“

Jej funkciou je volanie všetkých nasledujúcich súborov. V samostatných priečkach sa nachádzajú inštrukcie „JSR“ (Obr. 26).



Obr. 26 Inštrukcie volania subrutín

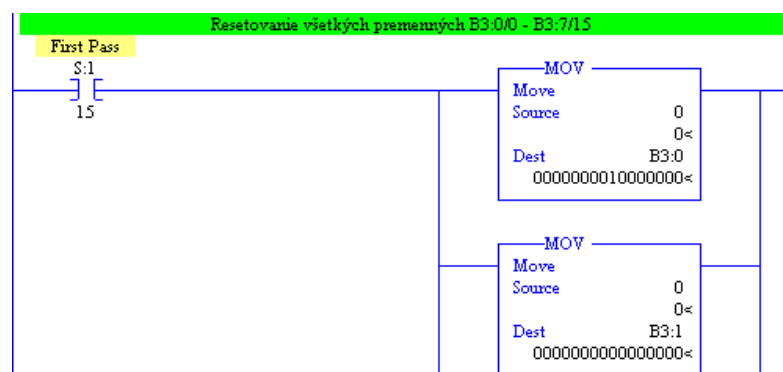
Program po prechode touto inštrukciou odbočí do adresovaného súboru a po jeho dokončení sa vráti na koniec pôvodnej priečky. Postupne sú takto vykonané všetky subrutíny.

6.2.2 Subrutina „LAD 3 - Inicializácia“

Slúži pre vynulovanie premenných po zapnutí zariadenia. Sú to predovšetkým pomocné bitové premenné v dátovom súbore „B3 – BINARY“. Slúžia ako príznaky vykonania činností, nastavenia, príkazy a náhrady reálnych vstupov a výstupov.

Nulovanie väčšieho množstva samostatných bitov je rozsiahle a neprehľadné, preto je využitá inštrukcia MOV, ktorá presunutím hodnoty 0 na celé 16 bitové slovo nastaví všetky bity na log. 0 (Obr. 27). Rovnakým spôsobom sú resetované všetky slová v rozsahu B3:0 až B7:15, ktoré obsahujú prevažne príkazy pre pohyb motorov, príznaky referovania a podobne. Nulovanie sa vykoná len počas prvého cyklu programu, čo zaručuje použitie statusového bitu S1:15. Vlastnosťou tohto bitu je, že inštrukcie je priechodná len jedenkrát po zapnutí PLC. Počas ďalších cyklov sú všetky inštrukcie za ním ignorované, až do vypnutia automatu a opätovného pripojenia na napájanie.

Tento krok je nutný z hľadiska bezpečnosti, aby sa zabránilo samovoľnému rozbehu motorov po zapnutí stroja.



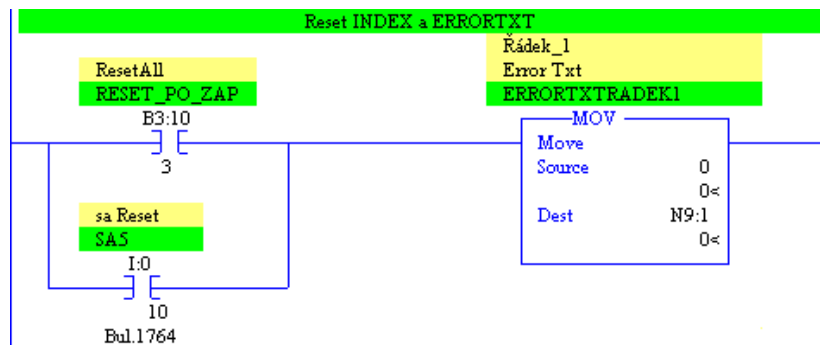
Obr. 27 Nulovanie pomocných premenných po spustení zariadenia

Rovnakým spôsobom je nastavený bit B3:10/3 – „Reset po zapnutí“, ktorý zabezpečuje vymazanie porúch a alarmov, posielaných na panel a vymazanie porúch elektromechanických prvkov v rozvádzači. Ďalej sú v subrutine vyriešené prístupové práva. Po zadaní správneho hesla bude nastavený bit „Zadané správne heslo“. Tento bit bude použitý v každej priečke, ktorá bude vykonávať tie akcie, ktoré sú prístupné len oprávneným osobám.

6.2.3 Subrutina „LAD 4 - Error“

Princíp zasielania správ a alarmov na panel spočíva zaslaní čísla do určitej premennej. Operátorský panel si pravidelne kontroluje stav premenných a podľa ich obsahu vypisuje prednastavené správy. Každé číslo reprezentuje jeden vopred nadefinovaný text poruchy, alebo správy.

Na začiatku tejto subrutiny prebehne vymazanie chýb, posielaných do panela. To je vykonané automaticky po zapnutí stroja podľa kap. 6.2.2 a ručne po stlačení tlačidla „reset“.

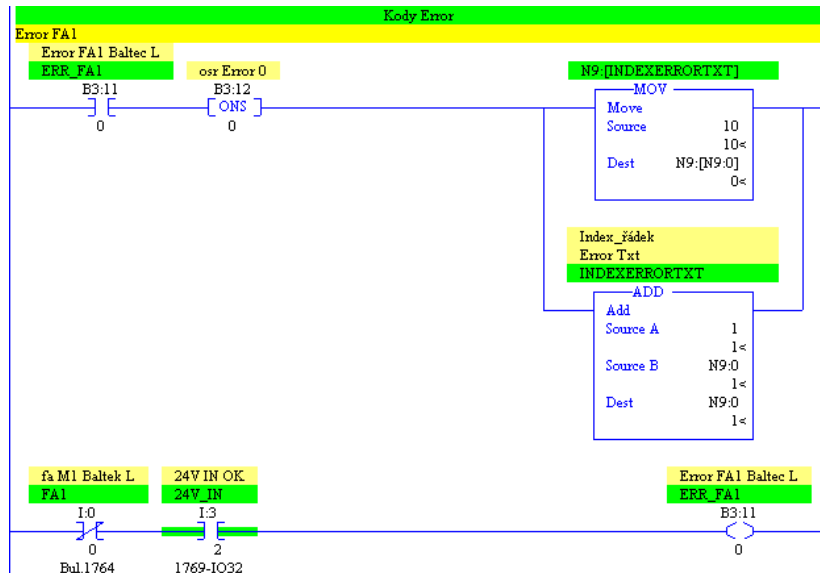


Obr. 28 Spôsob resetovania chybových hlásení

V ďalšej časti sa vynulujú poruchy elektrických prístrojov, ktoré by mohli ostať aktívne aj po odstránení chyby pri vypnutí zariadení. Opäť ide o činnosť, vykonanú automaticky po zapnutí, prípadne manuálne po stlačení príslušného tlačidla.

Hlavnou časťou programu je identifikácia poruchy a nastavenie premennej pre zobrazenie správneho textu na panel. Operácia je vždy rozdelená do dvoch priečok. V jednej je nastavený príznak chyby a v druhej sa nastavuje jej číslo v premennej a riadok, v ktorom bude zobrazená.

Identifikácia chyby spočíva v nastavení bitovej premennej pri nesplnení určitej podmienky. Nastavenie čísla poruchy prebehne pomocou inštrukcie MOV. Pre zobrazenie chyby je použitých 5 riadkov. To znamená, že zobrazených môže byť súčasne 5 rôznych porúch. Aby sa predišlo vzájomnému prepisovaniu riadkov, je každá chyba zapisovaná do nasledujúceho tak, že pri vyskytnutí sa poruchy sa zvýši index (číslo riadku) o jeden oproti predchádzajúcemu. Následne je pri nastavovaní čísla chyby využité nepriame adresovanie, teda cieľová adresa čísla je index riadku.



Obr. 29 Nastavovanie indexu a riadku poruchy

V závere je na základe ľubovoľnej poruchy nastavená ďalšia premenná, ktorá v spolupráci s bitom z vnútorných hodín (S4:12) prerušuje červené svetlo na majáku.

6.2.4 Subrutina „LAD 5 – Základná poloha“

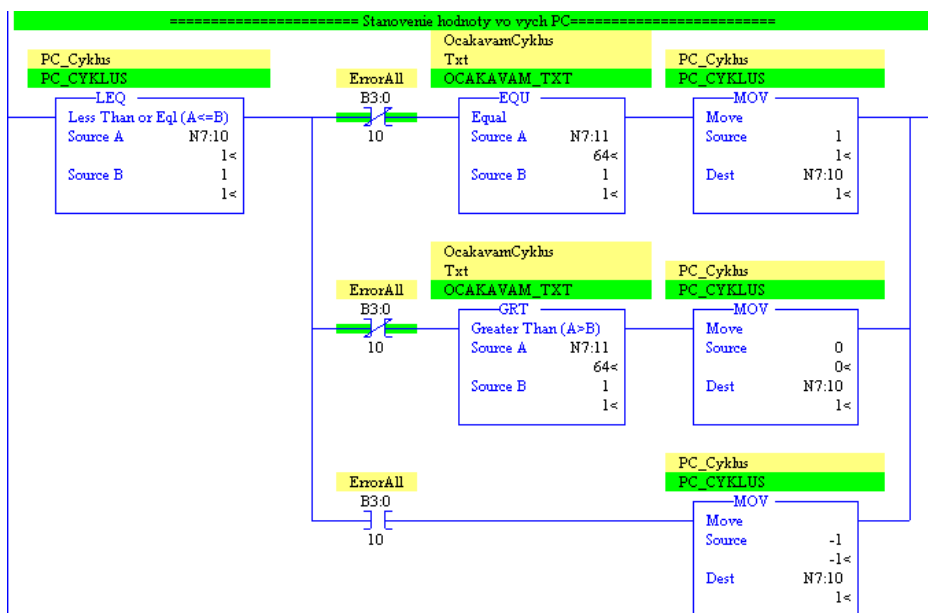
Úlohou subrutiny je nastavenie základných polôh pohyblivých častí po spustení zariadenia, alebo po stlačení tlačidla „základná poloha“. Po zapnutí stroja je pre referenciu využitý bit S1:15.

V obidvoch prípadoch sa všetky pneumatické valce presunú do základných polôh, z ktorých budú neskôr presunuté podľa požiadaviek hlavného programu. Rovnako sa vypnú motory nitovačiek a vibračných zásobníkov pre prípad, že stroj bol vypnutý neštandardným spôsobom a niektoré premenné ostali trvalo zapnuté.

V ďalšej časti sú nastavované hlásenia pre panel o očakávanom kroku – „očakávam_txt“. Tento text je užitočný z hľadiska diagnostiky prípadnej poruchy a bude sa zobrazovať na paneli pre operátora. Nastavuje sa rovnako ako porucha, teda kopírovaním čísla do vopred zadefinovanej premennej. Tá je spolu so zvyšnými v dátovom súbore N7 a ich rozsah je typu celé číslo.

V závere subrutiny sa nastavujú ešte dve ďalšie premenné. Prvá z nich je „PC_Cyklus“. Číslo, ktoré obsahuje, rozhoduje o nasledujúcich akciách. Zvyšovaním čísla premennej postupuje hlavný cyklus programu a v podstate je ňou zabezpečené sekvenčné vykonávanie programu. V subrutine sa rozhoduje len o hodnotách kroku -1, 0 alebo 1 (Obr. 30). Prvý z nich znamená, že nie je možné vykonávať akúkoľvek činnosť na zariadení až do odstránenia poruchy, prípadne prekážky. Po jej odstránení sú možné hodnoty 0 a 1 a závisia od premennej „očakávam_txt“. Ak tá je rovná hodnote 1, rovnako aj premenná „PC_Cyklus“ je rovná hodnote 1 a stroj je pripravený na začatie činnosti. Ak je hodnota premennej „očakávam_txt“ väčšia ako 1 (čo znamená, že nejaký prvok nie je v základnej polohe), premenná „PC_Cyklus“ sa nastaví do hodnoty 0. Týmto spôsobom je zabezpečený pohyb v rôznych stavoch, nezávisle na predchádzajúcej hodnote.

Druhou premennou, ktorá sa v subrutine nastavuje, je „status_txt“. Podľa hodnoty „PC_Cyklus“ (-1, 0, 1, >1) sa k nej priradujú čísla s hodnotou 1 ÷ 4. Ich význam je opísaný v kap. 7.2.



Obr. 30 Zmena kroku v závislosti od vstupných podmienok

6.2.5 Subrutina „LAD 10 – Meranie“

Funkciou tohto súboru je konvertovanie signálov z vysokorýchlostných snímačov na polohu pohyblivého prvku.

V úvodnej časti programu prebehne aktivovanie vysokorýchlostných čítačov zapnutím príslušných bitov – O1:80 a O1:90 pre prvé dva čítače, a O2:80 a O2:90 pre zvyšné dva. Následne sa nastaví smery počítania pomocou príslušných bitov – tzv. „direction invert“ bity. [18]

Zvyšok subrutiny obsahuje 4 časti, ktoré sú si programovo podobné, vzhľadom na rovnakú technológiu merania vzdialenosti. Každá z nich však obsluhuje samostatný snímač, pričom sú použité rozdielne konštanty pre zistenie aktuálnej polohy. Na začiatku sa skopíruje aktuálna hodnota z čítača do samostatnej premennej v dátovom súbore L11 s rozsahom 32 bitov. Ďalej sa už nepracuje s pôvodnou premennou, ale jej kópiou. Nasleduje prepočet pulzov na vzdialenosť. Podľa kap. 2.3.3 zodpovedá jeden impulz z lineárnych snímačov pohybu vzdialenosti 0,0624 mm. To znamená, že pre zistenie aktuálnej polohy sa vynásobí akumulátor čítača s konštantou 0,0625. Keďže výsledok je reálne číslo, samotnému prepočtu predchádza skopírovanie akumulátora čítača do dátového súboru F8, čím sa automaticky konvertuje na typ „float“.

Ďalšou funkciou v subrutine je nulovanie zásobníka impulzov po príjazde pohyblivej časti na snímač referenčnej polohy. Táto funkcia je využitá pri referovaní motorov v kap. 6.2.6.

Ďalej je vyriešené ukladanie nových polôh. Aktuálna poloha je neustále aktualizovaná v premennej v dátovom súbore F8. Po stlačení príslušného tlačidla na paneli sa hodnota preniesie aj na miesto, kde je uložená požadovaná poloha pre výrobu.

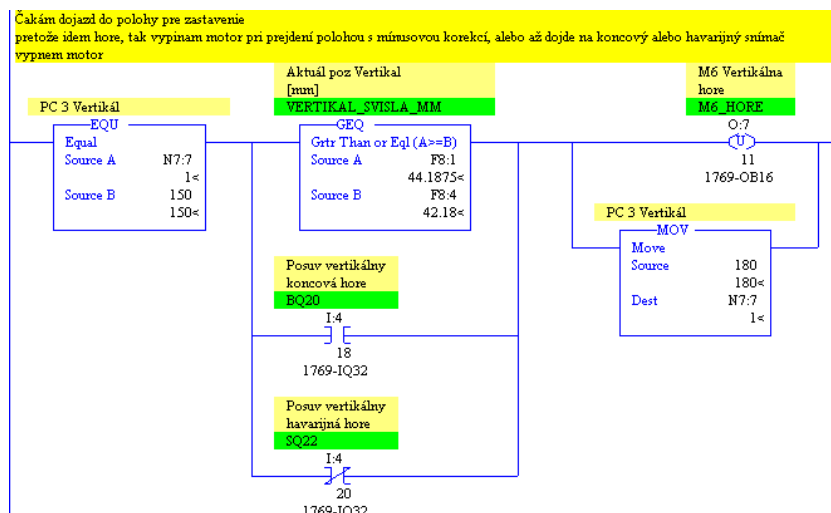
6.2.6 Subrutiny „LAD 6 – LAD 9“

Všetky 4 subrutiny majú veľmi podobný programový obsah, keďže princíp ovládania frekvenčných meničov je takmer zhodný. Rozdiely sú v adresách používaných vstupov, výstupov, premenných a v čiastočne odlišnom ovládaní horizontálneho posuvu – využívajú sa 2 rýchlosti.

V úvode subrutiny sa vykoná nulovanie premennej „PC 3 Vertikál L“, ktorá ovláda postupnosť krokov podobne, ako v kap. 6.2.4 premenná „PC_Cyklus“. Taktiež sa po zapnutí stroja, alebo stlačení tlačidla reset v tejto časti vypínajú pohyby motora nahor aj nadol a maže sa príznak predchádzajúceho referovania osi.

Ďalej nasleduje rozhodovanie, či bola vykonaná referencia osí, alebo nie. V prípade, že nebola, program odbočuje do kroku 500, kde sa referencia vykoná. Tá spočíva v odjazde motora na nulovú polohu, kde je umiestnený indukčný snímač. Po zosnímaní konštrukcie sa motor vypne a vynuluje sa zásobník vysokorýchlostného čítača s aktuálnym počtom impulzov. Nastaví sa príznak dokončeného referovania a program pokračuje v mieste, kde odbočil.

Po zvolení niektorého typu modulu sa do požadovaných hodnôt jednotlivých osí motorov nakopírujú ich žiadané pozície pre výrobu. K nim sa pripočítajú tolerancie ($\pm 0,5$ mm) a nameraná korekcia zotrvačnosti. Podľa aktuálnej a požadovanej polohy sa rozhodne, ktorým smerom sa motor roztočí. Počas pohybu sa neustále kontroluje nebezpečné priblíženie k susednej časti. Po presiahnutí hornej alebo dolnej požadovanej hranice (závisí od predchádzajúceho smeru otáčania) sa motor zastaví (Obr. 31) a vracia do kroku, kde sa rozhoduje o type vyrábaného kusu a teda od novej požadovanej pozície.

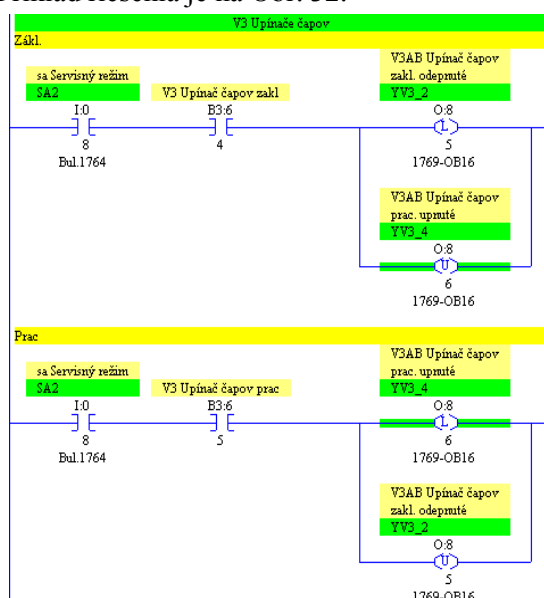


Obr. 31 Bezpečné zastavenie motora v polohe, alebo na koncovom snímači

Pri pohybe horizontálneho motora sa používajú 2 rýchlosti, keďže prekonávané vzdialenosti sú oveľa väčšie ako pri ostatných pohyboch. Preto je potrebné sledovať vzdialenosť od žiadanej hodnoty a včas spomaliť. V programe sa sleduje hranica 2 cm od požadovanej hodnoty. Vtedy sa vypne bit pre rýchly posuv a motor spomalí. Zvyšné procedúry sú rovnaké, ako v ostatných prípadoch.

6.2.7 Subrutina „LAD 11 – Ručný“

Funkciou subrutiny je zabezpečiť možnosť manuálneho posuvu pohyblivých častí. V dátovom súbore B3 sú vytvorené premenné, ktoré budú ovládané priamo z operátorského panela pomocou tlačidiel. Tie po splnení podmienok tak, aby nešlo ku kolíziám, budú môcť pohybovať motormi a pneumatickými valcami. Príklad riešenia je na Obr. 32.



Obr. 32 Príklad manuálneho ovládania pohyblivých častí

Dôležitou podmienkou pri ručnom ovládaní je prepnutie kľúča pre nastavovača SA2. Pneumatický valec má možnosť pohybu v dvoch smeroch, preto sú pre takéto prvky vytvorené 2

priečky, každá pre jeden smer. V každej z nich sa striedavo zapína a vypína ventil pre požadovaný smer. Aby nebolo nutné tlačidlo na paneli držať celú dobu, sú použité inštrukcie OTL a OTU. Obedve pracujú s jedným fyzickým výstupom, ale prvá z nich ho trvalo zapne a druhá trvalo vypne. Pri motoroch sa kontrolujú koncové snímače pre prípad havárie.

6.2.8 Subrutina „LAD 12 – Cyklus“

Tento programový súbor slúži pre automatický režim montáže dielov. Pre číselný popis kroku, v ktorom sa zariadenie aktuálne nachádza, je použitá premenná „PC_Cyklus“. Postupovaním programu sa zvyšuje aj hodnota tejto premennej. Inkrementácia však nie je pravidelná, slúži len na oddelenie jednotlivých krokov.

V úvode sú vypnuté svetlá majáku, je ošetrované stlačenie bezpečnostného tlačidla a povolenie postupu programu do vyššieho kroku v bezporuchovom stave. Taktiež sú do procesu načítavané parametre ako čas nitovania, čas vypnutia nitovačiek po dlhšom nepoužívaní a je tiež vytvorený testovací režim výroby bez dielov.

Ďalej nasleduje samotný výrobný cyklus. V kroku č. 1 sa nastavuje premenná pre panel o očakávanom kroku podľa vstupných podmienok. Pri stlačení tlačidla štart sa tiež zisťuje prítomnosť čapov na pracovných stoloch. Ak nie sú pripravené, stroj vykoná nabitie. Odbočí do kroku č. 500 a postupne vykoná potrebné činnosti. Najprv otvorí upínač čapov, spustí nabíjač, otočí stôl, počká na prítomnosť čapu a následne zdvihne čap do pracovnej výšky a zatvorí upínač. Každý nasledujúci krok je podmienený splnením toho predchádzajúceho.

Po nabití čapov sa program vracia do kroku č. 1. Po opätovnom stlačení tlačidla štart a splnení všetkých vstupných podmienok - valce v polohe, vložený správny plech, povolenie kroku a i. – program postupuje do kroku č. 100 a upína modul. V ďalšom kroku čaká na správne upnutie plechu, pričom nastavuje premennú „očakávam_txt“. Nasleduje spustenie nitovačiek a ich pohyb dole. Po ich dorazení do spodnej polohy sa spustí časovač, ktorý čaká 1,8 s. Následne sú nitovačky opäť vrátené do domácich polôh. Nastavuje sa bit pre počítadlo vyrábaných kusov a taktiež počítadlo nástroja a celkovom počte vyrobených kusov. Ďalším krokom je uvoľnenie modulu a čapov. Po odobraní plechu sa nastaví bit pre výpočet nových pozícií motorov a opäť nasleduje nabitie čapov.

6.2.9 Subrutina „LAD 13 – Výroba“

Tento programový súbor sa stará o nastavenie typu vyrábaného modulu, ich kombinácií a o výpočet adries s uloženými pozíciami jednotlivých osí.

Zariadenie bude vyrábať 5 typov áut. Spôsob výberu auta je podobný, ako pri hláseniach pre panel. V pamäti je rezervovaná premenná typu „integer“, ktorá obsahuje číselnú informáciu. Každé číslo pritom znamená iný typ auta. V úvode subrutiny je ošetrovaný rozsah premennej od 1 do 5. To znamená, že daný rozsah nie je možné opustiť. Podobne je ošetrovaná aj kombinovaná výroba dielov. Spolu je 8 prípustných kombinácií – 4 samostatné moduly, kombinácia predných, kombinácia zadných, kombinácia ľavých, prípadne pravých modulov. V prípade auta typu 3D sú dostupné len tie možnosti, ktoré sa na danom stroji vyrábajú. Ďalej sa rozlišujú moduly s jedným čapom a nastavuje sa bit, ktorý zakáže pohyb príslušnej nitovačky.

V ďalšej časti programu sa nastavuje príznak – „správny plech“, ktorý informuje o zhode medzi zvoleným a vloženým modulom. Ide o množstvo kombinácií plechov a snímačov, preto je táto

časť napísaná v samostatnej subrutine. Nasleduje výber hlásení pre panel o očakávanom module, ktoré sa kopírujú do samostatnej premennej „vloz_plech_txt“ a informujú operátora o zvolenom type.

Ďalšou operáciou je výpočet adries s uloženými pozíciami motorov pre výrobu dielov. Na stroji sa bude vyrábať 5 druhou áut. Za predpokladu, že každé auto má 4 dvere a pre každé dvere sú potrebné 4 pozície (pre každú os jedno pamäťové miesto), je pre každé auto potrebných 16 pamäťových miest. Z tohto predpokladu je odvodený výpočet adresy v pamäti pre každú os:

- adresa = (vybrané auto * 16) + (dvere * 4) + poradie osi,

pričom typ auta má rozsah 0 až 4, dvere sú v rozsahu 0 až 3 a osi v rozsahu 0 až 3. Výsledné číslo je využité v nepriamom adresovaní a znamená poradie premennej v dátovom súbore N10 (Tab. 7).

Dvere	LP				PP				LZ				PZ			
Os	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
ED-man	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ED-el.	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
ED3	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
KM	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
LM	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79

Tab. 7 Tabuľka adries s uloženými pozíciami osí

Výpočet adries sa využíva vo voľbe režimu výroby modulov, teda pri voľbe dverí, alebo ich kombinácie. Pri striedavej výrobe sa najprv určuje, ktorý modul ide do výroby a potom sa vypočítavajú adresy. V závere sa z vypočítaných adries prekopírujú žiadané polohy osí do samostatných premenných.

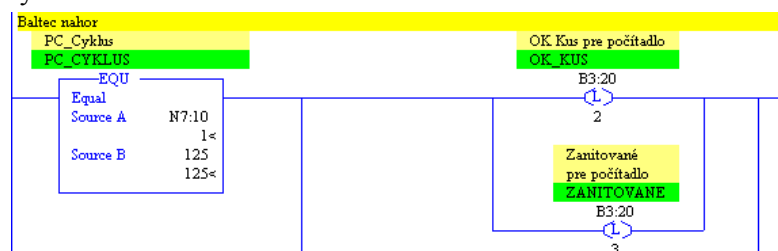
6.2.10 Subrutina „LAD 14 – Vibráky“

Jej úlohou je nezávisle na zvyšku programu dopĺňať čapy z vibračných zásobníkov do vedenia až na otočný tanier. Vo vedení je umiestnený indukčný snímač, ktorý kontroluje ich množstvo. Po strate signálu z tohto snímača sa spustí časovač, ktorý je nastavený na 90 s a spúšťa dopĺňanie. Pri obnovení signálu sa vibračný zásobník vypína.

6.2.11 Subrutina „LAD 15 – Počítadlá“

Jednou z podmienok podľa kap. 3.1.3 je možnosť zobrazit' počty vyrobených kusov. Tie sa ukladajú do pamäte automatu a programovo sú riešené pomocou čítačov.

V subrutine „cyklus“ sú po skončení automatického nitovacieho cyklu nastavené bity „OK_Kus“ a „Zanitované“ (Obr. 33). Tie sú ďalej využité v počítaní vyrobených kusov, cyklov nástroja a jednotlivých dielov.



Obr. 33 Nastavenie príznaku dokončeného kusu v automatickom režime výroby

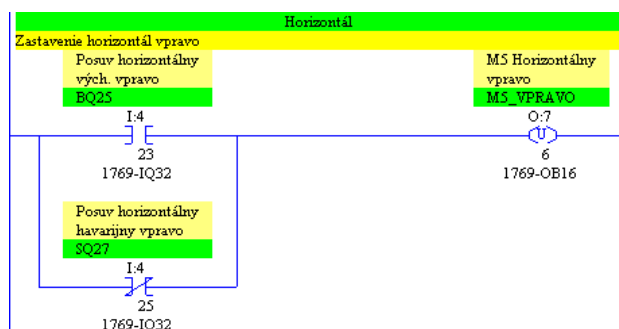
Subrutina začína počítaním všetkých kusov spolu. Po každom nitovacom cykle je v čítači pomocou premennej „OK_Kus“ zvýšená hodnota akumulátora o 1. Je typu celé číslo, ktorého rozsah je $-32768 \div 32767$. Vzhľadom na dennú produkciu 2000 až 5000 kusov je zrejmé, že tento rozsah nevyhovuje. Preto je v čítači nastavená hranica na hodnotu 1000 a po jej dosiahnutí sa v ďalšom čítači akumulátor inkrementuje o hodnotu 1 a zároveň sa vynuluje akumulátor prvého čítača. Tým je dosiahnutý rozsah 999 999 kusov, ktorý pri maximálnom vyťažení stroja postačí na cca 200 dní. Preto je pridaný ešte jeden čítač, ktorý je nastavovaný dosiahnutím hranice druhého. Takto dosiahnutý rozsah vystačí počas celej životnosti zariadenia. Na záver je pridaná priečka, v ktorej sa presunú do všetkých čítačov nuly, čím je vyhovené podmienke možnosti nulovania kusov.

Rovnakým spôsobom prebieha počítanie nitovacích cyklov nástroja. Taktiež sú použité 3 čítače v kaskáde s priečkou na nulovanie. V podstate je to rovnaké počítadlo, ale bude resetované každých 300 000 cyklov (podľa technologických požiadaviek v kap. 3.1.4), teda musí byť oddelené od ostatných. V závere subrutiny je porovnávaný druhý čítač nástroja s číslom 300, čo zodpovedá počtu 300 000 nitovaní. Po prekročení hodnoty sa nastaví bit, upozorňujúci v paneli na potrebu výmeny nástroja.

V ďalšej časti programu sú počítadlá pre samostatne typy dverí jednotlivých áut. Princíp je rovnaký ako v predchádzajúcich prípadoch, teda 3 čítače v kaskáde a priečka s nulovaním kusov. Pridané sú 2 inštrukcie, ktoré zabezpečia resetovanie vyrobených kusov aj v prípade stlačenia tlačidla na vynulovanie všetkých dverí jedného typu auta, prípadne resetovanie všetkých dverí všetkých typov áut.

6.2.12 Subrutina „LAD 16 – Výstupy“

Funkciou tejto subrutiny je bezpečnosť zariadenia. Každá motorom ovládaná časť je chránená koncovými snímačmi v obidvoch krajných polohách. V jednotlivých priečkach programu sú vypínané motory, ktoré pri svojom pohybe prejdú tieto polohy, alebo zopnú koncové elektromechanické spínače (Obr. 34).



Obr. 34 Zastavenie motora pri prekročení bezpečnej hranice

Z pohľadu bezpečnosti je neprípustné, aby sa motor pohyboval ďalej, ako za stanovenú hranicu. Umiestnením subrutiny na posledné miesto programových súborov je zabezpečené, že aj v prípade neodhalenej programovej chyby a nesprávnym vyhodnotením podmienok, sa v závere programového cyklu jednoznačne rozhodne o zastavení pohybov.

6.3 Testovanie aplikácie

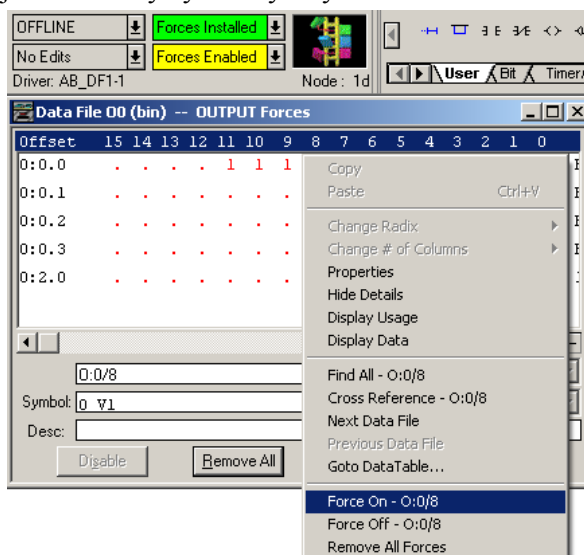
Testovanie programu je rozdelené na 2 fázy. Prvá fáza spočíva v kontrole správneho adresovania snímačov, bezpečnosti a základných funkcií zariadenia. Druhá fáza zahŕňa ladenie programu a riešenie konfliktov v automatickom režime.

Po nahratí programu sa automat uvedie do programovacieho módu. Tým sa začne vykonávať cyklus programu ako v „run“ móde, ale na výstupy sa neprivádza napätie. Takto je možné otestovať základné funkcie bez rizika vzniku havárie.

Prvým krokom je kontrola vstupov. Manuálnym zopínaním snímačov sa sleduje obraz vstupov a správnosť priradenia daného vstupu podľa popisu. Každý snímač má štítok s označením, ktorý je použitý aj v programe. Tým je umožnená rýchlejšia a prehľadnejšia kontrola. Nasleduje overenie bezpečnosti postupným zopínaním koncových snímačov, pričom sa kontroluje stav premenných pre spúšťanie motorov. Po zopnutí elektromechanického spínača musí program jednoznačne uviesť príslušné výstupy do logickej nuly. Podobným spôsobom je vykonaná kontrola funkcie bezpečnostnej závory. Prerúšením lúčov a vypnú výstupy pre motory a pneumatické valce.

Ďalším krokom je testovanie čítačov. Bez pripojeného napájania motorov je možné ručne otáčať ich hriadeľmi. Týmto spôsobom sa skontroluje správnosť smeru počítania. Pri každej prevodovke je známy jej zdvih, takže je možné skontrolovať prepočet pulzov na vzdialenosť. Takisto je možné zopínaním snímačov základných polôh pojazdov skontrolovať funkciu vyprázdňovania akumulátorov čítačov.

Po kontrole základných funkcií sú testované vybrané subrutiny, predovšetkým tie, ktoré obsluhujú hardvér zariadenia. Využíva sa funkcia „forcing“ (Obr. 35), ktorá simuluje zmenu stavu vybraného bitu nezávisle na skutočnosti. Postupne sa nastavujú vstupné podmienky, ktoré sú nutné k postupnosti programu. Pri tomto spôsobe sú viditeľné požadované vstupy a následnosť jednotlivých krokov. Takto sú overené niektoré sekvencie subrutín pre obsluhu motorov, meranie a prepočet pulzov na vzdialenosť a stručne aj automatický cyklus výroby dielov.



Obr. 35 Využitie funkcie „forcing“ k simulácii vstupov

Účelom prvej fázy testovania je odhaliť chyby návrhu a overenie jeho funkčnosti. Druhá fáza prebehne po vytvorení vizualizačnej aplikácie pri zavádzaní stroja do výroby.

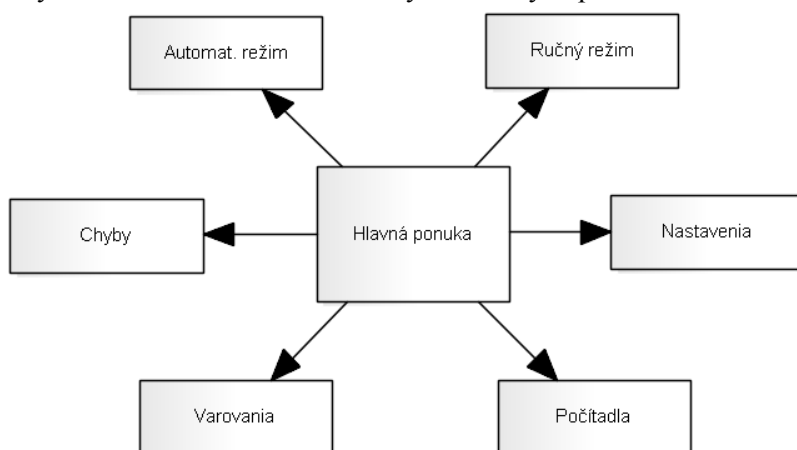
7 Návrh, realizácia a testovanie vizualizačnej aplikácie

Neoddeliteľnou súčasťou programového vybavenia zariadenia je aplikácia ovládacieho panela. Pre komfortné a efektívne využívanie naprogramovaných funkcií automatu je nutné vytvorenie prehľadnej, a z pohľadu obsluhy čo najjednoduchšej aplikácie. V tomto smere je podporou dotyková obrazovka, ktorá pre zmenu funkcie stroja operátora odľahčuje od hľadania príslušných funkčných kláves. Ďalším pozitívom je farebný panel, ktorý výrazne podporuje orientáciu v jednotlivých obrazovkách.

Hlavnou myšlienkou návrhu je jednoduchosť a stručnosť zobrazovaných informácií tak, aby bola dosiahnutá prehľadnosť bez obmedzenia funkčnosti. Možným riešením je rozdelenie jednotlivých funkcií na samostatné obrazovky.

7.1 Štruktúra aplikácie

Model štruktúry aplikácie panela vychádza z idey jednej hlavnej obrazovky – hlavnej ponuky – ktorá bude obsahovať odkazy na jednotlivé funkcie zariadenia (Obr. 36). Tie budú realizované pomocou samostatných obrazoviek a v nich vnorených aktívnych prvkov.



Obr. 36 Štruktúra aplikácie hlavného menu panela

Počet obrazoviek jednej funkcie nie je obmedzený. Dôležité však je, aby sa komfort ovládania prvkov neznížil ich nadmernou hustotou. Pri dotykových obrazovkách sa časom znižuje ich citlivosť na dotyk a po čase vznikajú preklepy.

7.2 Návrh aplikácie

Pre návrh aplikácií pre PanelView 600 Plus je určené programové prostredie FactoryTalk View Studio. Je to nástroj pre kompletne modelovanie a nastavenie projektu. Pribalené utility dopĺňajú jeho funkcie o kompiláciu, zálohu, obnovenie aplikácie, jej nahranie do panela a naopak.

Modelovanie spočíva v postupnom vytváraní obrazoviek a prvkov, ktorým sa následne priradujú parametre a tagy. Medzi základné prvky, ktoré aplikácia využíva, patria:

- tlačidlá,
- správy,
- texty,

- číselné displeje,
- stavové indikátory.

Program samozrejme ponúka omnoho viac nástrojov, napr. obrázky, rôzne geometrické tvary a grafy, avšak s pomocou daných prostriedkov je možné vytvoriť komfortnú a plne funkčnú aplikáciu. Je to umožnené aj vďaka rôznym parametrom, ktoré sú k dispozícii u jednotlivých prvkov. Nejde pritom len štandardne o farbu, veľkosť a formát písma a pozadia, ale hlavne o rôznorodosť ich funkcií. Pri tlačidlách je na výber hneď niekoľko druhov a to napr.: monetary, latch, interlock, ramp... Každé z nich má po stlačení iné správanie, čo rozširuje a zároveň zjednodušuje návrh.

7.2.1 Hlavná ponuka

Základná ponuka obsahuje podľa návrhu v kap. 7.1 odkazy na jednotlivé funkcie (Obr. 37).



Obr. 37 Hlavná ponuka aplikácie panela

Graficky je obsah ponuky stručný. Okrem hlavného panela, ktorý obsahuje popis aktuálnej obrazovky (v tomto prípade názov stroja), sú zobrazené len tzv. „Goto Display Button” tlačidlá. Tie po ich stlačení vyvolajú obrazovku, ktorá je zadaná vo vlastnostiach.

7.2.2 Automatický režim

Prvý odkaz slúži pre vyvolanie okna automatického režimu. Jedná sa o obrazovku, ktorá zobrazuje základné informácie o výrobe a stave zariadenia (Obr. 38).



Obr. 38 Obrazovka automatického režimu

V hlavnom paneli je informácia o aktuálne vyrábanom type modulu. V pravom hornom rohu je tlačidlo zatvárajúce aktuálne okno. Jeho podobnosť s podobným tlačidlom v operačných systémoch Windows zvyšuje intuitívnosť ovládania. Pod textami „Krok“ a „Status“ sa zobrazuje číselný kód aktuálneho kroku a text, popisujúci stav zariadenia. Sú možné 4 stavy stroja (Obr. 39). Ich výber závisí od čísla v premennej „Status_txt“ v automate. Podľa jeho hodnoty je vybratá zodpovedajúca správa.

Nasledujúcou informáciou je očakávaný krok. Ide o detailnejší popis stavu zariadenia. Pri stave – Chyba – je zobrazená prevádzková chyba. Pri stave – Cyklus beží, očakávam: – je zobrazený očakávaný nasledujúci krok.

	Trigger Value	Message
1	1	Chyba
2	2	Nie je východzia poloha, očakávam:
3	3	Východzia poloha OK
4	4	Cyklus beží, očakávam:
5		

Obr. 39 Súbor lokálnych správ s textami stavu zariadenia

Ďalšou správou je chyba, ktorá je zásadného (prevažne hardvérového) charakteru. Zobrazený je len v poradí posledný konflikt. Pre vyvolanie zvyšných vzniknutých problémov slúži samostatná ponuka hlavného menu – Chyby (Obr. 40). Hodnota premennej je nastavovaná v subrutine „Error“.



Obr. 40 Okno pre zobrazenie chýb zariadenia

Text „Nástroje opotrebené!“ sa zobrazí po prekročení počítadla zanitovaných kusov a informuje o potrebe výmeny nástroja. Pre upozornenie na zvyšné varovania slúži okno „Varovania“ (Obr. 41).



Obr. 41 Okno pre zobrazenie varovaní

Na obrazovke automatického režimu sa nachádzajú ešte tlačidlá pre ručné nabitie nitov, skok na nasledujúci modul v poradí vyrábaných kusov, tlačidlo pre resetovanie chyby a počítadlo kusov.

Tým by mala byť ponuka základných informácií a funkcií pre výrobu dostatočná bez nutnosti listovania vo zvyšných obrazovkách panela.

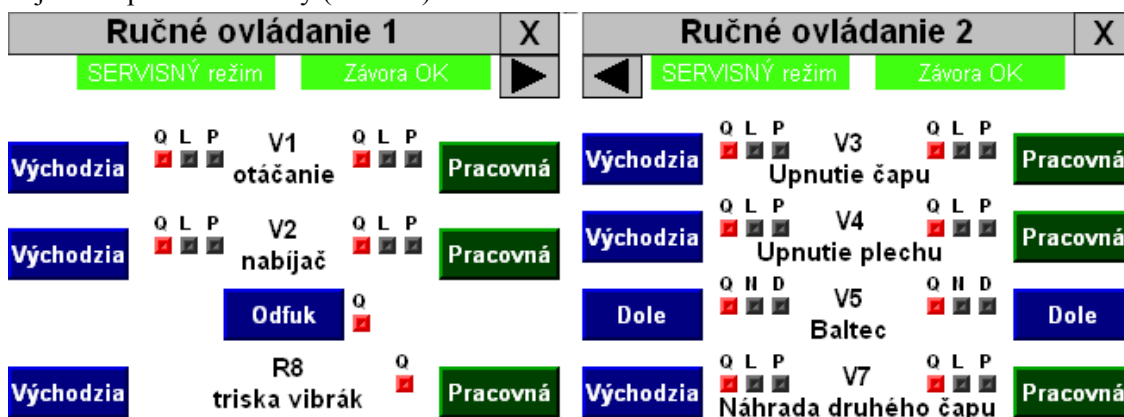
7.2.3 Ručný režim

Ďalším odkazom je ručné ovládanie stroja. Po zvolení tlačidla ručného režimu sa zobrazí ponuka, ktorá umožňuje výber želaného prvku (Obr. 42). Obrazovka obsahuje 5 tlačidiel – podpera ľavá, podpera pravá, horizontál, vertikál a nitovanie. Každé z nich vyvolá samostatnú obrazovku s možnosťami pohybov a funkcií, charakteristických pre daný prvok.



Obr. 42 Ponuka ručného ovládania

Zvolením voľby – nitovanie – sa vyvolá ponuka, umožňujúca ovládanie pneumatických valcov, obsluhujúcich nitovací proces. Prakticky sa jedná o všetky valce, ktoré obsluhujú podávanie a nabíjanie čapov a nitovačky (Obr. 43).



Obr. 43 Ručné ovládanie pneumatických valcov

Ovládanie je pre počet valcov rozdelené do dvoch samostatných obrazoviek. V hornej časti sú dve podmienky – servisný režim – ktorého zelená farba signalizuje prepnutý kľúč nastavovača a – závora OK – ktorá znamená, že závora nie je prerušená a pohyb je možný. Pre každý valec je v okne samostatný riadok. Tlačidlá „pracovná“ a „východzia“ pohybujú valcom do opačných krajných polôh. Pri každom príkaze sú zároveň umiestnené stavové indikátory. Rozsvietenie Q znamená, že je zapnutý príslušný výstup automatu. L a P indikátory predstavujú snímače ľavého a pravého valca domácej,

alebo pracovnej polohy. Odfuk nabíjača V2 a nitovačky sú ovládané iba jedným príkazom a to tak, že počas držania tlačidla sú v pracovnej polohe a po uvoľnení sa vrátia do domácej polohy.

Ovládanie pojazdov je na samostatných obrazovkách (Obr. 44). Princípiálne je ovládanie jednotlivých motorov rovnaké, rozdiel je len pri horizontálnom posuve, kde je možný pohyb dvoma rýchlosťami. Doplnenou podmienkou v porovnaní s ovládaním valcov je prítomnosť materiálu v stroji. Pri pohybe s vloženým plechom by mohlo dôjsť k poškodeniu mechanických častí. Preto je tento stav nielen zakázaný v automate, ale aj zvýraznený červeným obdĺžnikom. Uvedenie motora do pohybu sa realizuje stlačením tlačidla s vyznačeným smerom (prípadne u horizontálneho pohybu aj rýchlosťou). V hornej časti obrazovky sú umiestnené indikátory stavov koncových a havarijných snímačov. Pri aktívnom vstupe je použitá svetlá zelená farba, pri neaktívnom šedá. Pre kontrolné účely sú zobrazené informácie o aktuálnej a žiadanej polohe pojazdu a kroku, v ktorom sa cyklus nachádza. Poslednými prvkami, použitými v obrazovke sú tlačidlá pre referovanie osi a presunutie sa pojazdu do novej polohy.



Obr. 44 Ručné ovládanie pojazdov

Okná pre riadenie motorov podpier plechu sú identické s vertikálnym posuvom. Rozdiel je len v chýbajúcich indikátoroch brzdy a havarijných snímačov, keďže na stroji sú použité len koncové snímače.

7.2.4 Nastavenie

Nastavenie stroja je v obrazovke rozdelené na 3 časti – výroba, nitovanie a pozície (Obr. 45).



Obr. 45 Ponuka nastavení

Zároveň je v tomto okne prihlasovanie sa oprávnenej osoby.

Bezpečnosť je riešená v programe automatu v kap. 6.2.2. Po zadaní správneho hesla sa zmení farba a text informácie nad tlačidlom. Rovnako je dostupná aj možnosť pre odhlásenie užívateľa. Pre konfigurovanie parametrov panela slúži tlačidlá „shutdown“, ktoré ukončí aplikáciu a vyvolá menu operačného systému panela.

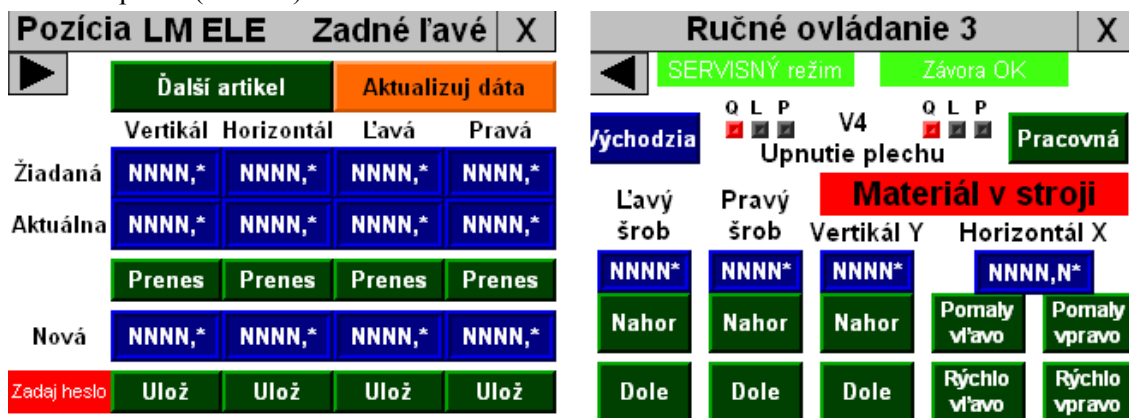
V obrazovke nastavenia výroby (Obr. 46) prebieha výber modulu, prípadne ich kombinácia do výroby. V hornej časti sú zobrazené aktuálne vyrábané dvere. Pod ním sa pomocou tzv. „ramp button“ vyberá typ auta, ktorého moduly sa budú vyrábať. Šípkami sa cyklicky mení jedno z piatich možných áut, pričom jeho názov a číslo sa zobrazujú v indikátoroch. Číslo súhlasí s označením v subrutine výroba.

Rovnakým spôsobom sa vyberá modul. K dispozícii sú najprv 4 samostatné dvere a následné aj ich ďalšie kombinácie.



Obr. 46 Obrazovka nastavenia výroby

Nastavenie nových polôh podľa požiadavky zadávateľa je realizované v obrazovke nastavenia pozícií. Skladá sa z dvoch okien. Jedno slúži pre pohyb podpier a pojazdov do žiadanej polohy a druhé pre uloženie polôh (Obr. 47)



Obr. 47 Nastavovanie a ukladanie nových pozícií

Pravá obrazovka slúži pre ručné nastavenie pohyblivých častí pre zvolený modul. K dispozícii sú dostupné všetky prvky, potrebné pre dostavenie každej osi. V ľavej obrazovke sa nachádzajú 4 stĺpce, pričom pre každý jeden motor sa zobrazuje podľa zvoleného modulu jeho žiadaná poloha. Pod ňou je zobrazená aktuálna pozícia. Tlačidlom „prenes“ sa skopíruje aktuálna poloha do žiadanej a tl. „ulož“ sa uloží do tabuľky polôh podľa Tab. 7 v kap. 6.2.9. Podmienkou je zadanie hesla. Zároveň je

po uložení možné prejsť na ďalší modul pomocou tl. „ďalší artikel“ bez nutnosti výberu modulu v obrazovke nastavenia výroby.

Poslednou časťou nastavenia je nitovanie. V okne sa pomocou „ramp button“ zvyšuje hodnota času nitovania po každom stlačení o 0,1 s.



Obr. 48 Nastavenie času nitovania modulu

7.2.5 Počítadla

Počítadlá sú rozdelené na kusy a nitovacie cykly. Počítanie kusov je vytvorené na samostatnej obrazovke pre každé auto (Obr. 49).



Obr. 49 Počítadlo kusov

Informácia o vyrobených kusoch je zvlášť pre každé dvere daného auta. Pri výmene operátora počas zmeny je navyše možnosť vynulovať čítač dverí bez toho, aby sa stratila informácia o produkcii za celú zmenu (total). Vymazanie všetkých dverí prebehne stlačením tlačidla – reset všetkých dverí.

Pre zjednodušenie nulovania na konci práce je doplnená obrazovka s nulovaním všetkých vyrobených modulov.

Počítadlo cyklov nitovacieho nástroja rovnako obsahuje lokálne počítadlo s možnosťou vymazania, bez straty informácie o ich celkovom počte (Obr. 50).

Po prihlásení sa do panela je pri zmene parametrov nástroja možné zmeniť maximálnu hodnotu zapísaním čísla do poľa predvoľba. Výsledná hodnota bude vynásobená konštantou 1000.

Uvedená aplikácia operátorského panela spĺňa požiadavky na prehľadnosť, a pre dostatočne zaškolenú obsluhu aj jednoduchosť. Farebná schéma nie je prednostne zadaná, vychádza však zo štandardov ostatných aplikácií vo firme. Najvyššia pozornosť je venovaná dostupnosti všetkých navzájom súvisiacich funkcií na jednej obrazovke (napr.: pri ukladaní nových pozícií je dostupná aj obrazovka s posuvom osí, hoci táto funkcia je samostatne umiestnená v manuálnom ovládaní).

Počítadlo nástroja		X
Cyklov	NNNNNN NNN	Reset
TOTAL	NNNNNN NNN	
Predvoľba	NNN	x1000 cyklov
Heslo zadané		Automatické odhlásenie po 5 minútách
Zadať heslo	Odhlásiť	

Obr. 50 Počítadlo nástroja

7.3 Testovanie vizualizačnej aplikácie

Po skompilovaní aplikácie na „runtime“ súbor a jeho nahratí do panela prichádza druhá fáza testovania. V nej je otestované správne adresovanie všetkých grafických objektov na premenné a súčinnosť aplikácie panela s programom PLC.

Prvým krokom je „prelistovanie“ všetkých obrazoviek – tým sa skontroluje nielen správna postupnosť okien, ale aj funkčnosť všetkých stavových indikátorov. Tie si automaticky po spustení aplikácie načítajú hodnoty z automatu. Pri nesprávnom adresovaní, prípadne chybných komunikácií sa zobrazí písmeno „N“ pre každý znak (číslo).

Ďalším krokom je kontrola adresovania tlačidiel a stavových indikátorov. Prebieha v programovacom móde automatu, a to postupným aktivovaním tlačidiel. V programe sa potom sleduje zmena stavu príslušnej premennej. Podobne sú sledované stavové indikátory. V automate sa zapíše ľubovoľné číslo do konkrétneho poľa (napr. počet vyrobených kusov) a na paneli sa sleduje jej správne zobrazenie. Súčasne prebehne aj kontrola resetovania počtu kusov a nitovacích cyklov.

Po kontrole adresovania nasleduje test manuálneho ovládania pohyblivých častí. Stlačením tlačidla pre pohyb motora sa kontroluje smer otáčania, stav ovládacích bitov pre frekvenčný menič (kombinácia smeru a rýchlosti) funkcia čítača a teda aj subrutiny pre konverziu pulzov na vzdialenosť. V závere pohybu sa skúšajú koncové polohy a havarijné stavy. Pri zopnutí koncového elektromechanického snímača sú vypnuté výstupy pre pohyb a zobrazená príslušná správa na paneli. Podobný stav musí nastať pri otvorení zadných dvier a prerušení bezpečnostnej závery. Obdobným spôsobom sú testované aj zvyšné 3 motory a všetky pneumatické valce.

Ďalej sú nastavené pozície jednotlivých modulov. Ide o časovo náročnejší proces, avšak nutný pre potreby testovania a výroby. Tým sa zároveň otestuje funkcia ukladania a vyvolávania pozícií a následne aj kombinácie modulov do výroby. Taktiež je odskúšané prihlasovanie sa oprávnenej osoby do panela.

Po odskúšaní jednotlivých funkcií je možné pristúpiť k testovaniu automatického režimu, správ o očakávanom cykle a alarmov. Alarmy sú chyby prevažne hardvérového charakteru. Simulovaním porúch (napr. vypnutím ističov, odpojením prívodu vzduchu) sa skontrolujú hlásenia na paneli. Následne je kontrolované hlásenie o stave zariadenia (statusové správy). Testovanie

automatického režimu je vykonané simulovaním prítomnosti modulu v stroji a spustením nitovacieho cyklu. Sleduje sa správanie stroja a nastavenie snímačov, postupnosť vykonávaných krokov a správnosť správ, ktoré popisujú priebeh nitovania. V ďalšom cykle sú otestované zvyšné správy, ktoré upozorňujú na chýbajúcu podmienku (napr. chýbajúci čap, nesprávne nastavený snímač, vložený nesprávny modul a pod.).

Odstránením drobných chýb je zariadenie pripravené do prevádzky. Prípadné chyby budú odstránené počas testovacej fáze, počas ktorej sa program doladí.

8 Záver

Diplomová práca popisuje celkový postup navrhovania hardvérového a programového vybavenia zariadenia pre automobilový priemysel. Súčasťou celého procesu bol výber programovateľného logického automat, ktorý mal spĺňať požadované kritéria. Špecifikom v tomto smere bola potreba štyroch vysokorýchlostných vstupov, ktoré v základných triedach automatov nie sú vždy dostupné. Rovnako bol súčasťou výberu hardvéru operátorský panel. Podmienka pre prehľadnosť a jednoduchosť aplikácie a zároveň obmedzený priestor pre použitie obrazovky s väčšou uhlopriečkou nutne smerovali k farebnému displeju bez vlastnej klávesnice a s dotykovou obrazovkou.

Analýza systému priniesla hlbšie pochopenie správania sa zariadenia. Vymedzenie presných požiadaviek na jeho chovanie a funkcie značne znižuje množstvo nejasností, ktoré vznikajú počas tvorby vzorcov správania. Výraznou pomocou v tomto smere je štandard UML, ktorý je s použitím softvérových prostriedkov užitočným nástrojom pre modelovanie systémov.

Riadiaca aplikácia automatu je ťažiskom predpokladu správne pracujúceho zariadenia. Tvorba programu si vyžadovala detailnú znalosť mechanických parametrov jednotlivých prvkov, elektrické vlastnosti signálov, princípy snímačov, akčných členov a všetkých hardvérových súčastí, vstupujúcich do procesu riadenia. Programovací štýl je podriadený faktu, že úloha je prevažne sekvenčného charakteru. Princíp sa zakladá na oddelení jednotlivých činností stroja do samostatných krokov, pričom beh programu je riadený odkazovaním sa do týchto nich. Počas vytvárania softvéru sa vyskytlo niekoľko nejasností, najmä práca s vysokorýchlostnými čítačmi, keďže sa nejedná o štandardne využívanú funkciu.

Tvorba aplikácie pre operátorský panel vychádzala z požiadaviek zadávateľa. Jadrom hviezdicovej štruktúry obrazoviek je hlavná ponuka, v ktorej sú odkazy na zadané funkcie. V nich sú obslužené požiadavky na manuálne ovládanie stroja, nastavenie výroby a počítanie vyrobených kusov. Pri návrhu bol kladený dôraz na prehľadnosť, stručnosť a jednoduchosť ovládania.

Testovanie aplikácií bolo zamerané na bezpečnosť celého zariadenia, predovšetkým na bezpečnosť obsluhy. Postupným simulovaním havarijných stavov sa odskúšali základné bezpečnostné prvky a celkové správanie stroja. Výsledná funkčnosť programov sa testovala počas druhej fázy, pričom sa preverovala aj súčinnosť panela a automatu. Zavádzanie zariadenia do výroby bolo súčasne aj fázou ladenia programu.

Výsledkom práce je funkčné zariadenie, ktoré je pripravené do sériovej výroby dverových modulov automobilu. Prípadné rozšírenie výroby v budúcnosti si bude vyžadovať zásah programátora, existuje však priestor pre nové typy dverí.

9 Použitá literatura

- [1] KOZIOREK, Jiří. Programovatelné automaty a vizualizace řídicích systémů. Výukový text pro studenty oboru Měřicí a řídicí technika, VŠB – TU Ostrava, 2009.
- [2] ARLOW, Jim – NEUSTADT, Ila. *UML a unifikovaný proces vývoje aplikací*. 1. vyd. Praha: Computer Press, 2003. 408 s. ISBN 807226947X.
- [3] Baltec. *Radial riveting technology* [online]. Srpen 2008, [cit. 2010-08-16] <http://www.baltec.com/no_cache/cz/services/brochures.html?cid=17577&did=12309&sechash=324ae66e>
- [4] Baumer electric. *Katalóg* [online]. Červenec 2010, [cit. 2010-10-11] <http://motion.baumergroup.com/motion/products/downloads/Produkte/PDF/Datenblatt/Magnetfeldsensoren/PI_MDFK_08_EN.pdf>
- [5] Baumer electric. *Katalóg* [online]. Červenec 2010, [cit. 2010-10-16]. <http://motion.baumer.com/motion/products/downloads/Produkte/PDF/Datenblatt/Magnetfeldsensoren/PI_MLFK_08_EN.pdf>
- [6] Siemens. *Katalog K02 – 0404 CZ* [online]. Březen 2004, [cit. 2010-10-18]. <https://www.cee.siemens.com/web/slovakia/sk/corporate/portal/produkty/divizie/automatizacna/ponuka/standardne/Documents/k02-0404-katalog-11a7-cz_2000001344543.pdf>
- [7] Tea technik. *Zdvížené převodovky* [online]. Březen 2009, [cit. 2010-10-18]. <http://www.teatechnik.sk/download.php?file=doc/katalogy/zdvizne_prevodovky.pdf>
- [8] KSK Kuřim. *Katalog výrobků* [online]. Leden 2007, [cit. 2010-10-18]. <<http://www.ks-kurim.cz/download/ksk07-005-katalog-2007-01-cze1.pdf>>
- [9] Patlite. *Product catalog* [online]. Září 2008, [cit. 2010-10-24]. <http://gb.patlite.eu/pdf/catalog/product_eng.pdf>
- [10] Siemens. *Switching device reference manual* [online]. Březen 2010, [cit. 2010-10-24]. <http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll/csfetch/35554359/LV1T_03_2010_03_en.pdf?func=cslib.csFetch&nodeid=38823288&forcedownload=true>
- [11] Skipala. *Návod k použití digitálního regulátor* [online]. Červenec 2008, [cit. 2010-10-24]. <<http://www.skipala.cz/Elektronicke-Pristroje-Pro-Prumysl/Regulace-Vibracnich-Zasobniku/Download/Manual/digr-1200-e-cz.pdf>>
- [12] Omron. *J1000 datasheet* [online]. Listopad 2009, [cit. 2010-10-24]. <<http://downloads.industrial.omron.eu/IAB/Products/Motion%20and%20Drives/Frequency%20Inverters/Pumps%20&%20Fans/J1000/SIEP-C71060633-01-OY/SIEP-C71060633-01-OY%20BJ1000%20UsersManual.pdf>>
- [13] Telemecanique. *Variable speed drives Altivar 71* [online]. Duben 2005, [cit. 2010-10-24]. <http://static.schneider-electric.us/docs/Motor%20Control/AC%20Drives/Altivar%2071/8800CT0501_Color.pdf>
- [14] Festo. *Elektromagnetické ventily VMPA1* [online]. Březen 2006, [cit. 2010-10-24]. <https://xdki.festo.com/xdki/data/doc_sk/PDF/SK/VMPA1_SK.PDF>
- [15] Festo. *Ventilový terminál typ 32 MPA* [online]. Únor 2009, [cit. 2010-10-24]. <https://xdki.festo.com/xdki/data/doc_sk/PDF/SK/TYP32_SK.PDF>
- [16] Festo. *Ventily CPE, Compact Performance* [online]. Březen 2007, [cit. 2010-10-24].

<https://xdki.festo.com/xdki/data/doc_sk/PDF/SK/CPE_SK.PDF>

- [17] Rockwell Automation. *Micrologix Programmable Controllers selection guide* [online]. Září 2010, [cit. 2010-10-24].
<http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/sg/1761-sg001_-en-p.pdf>
- [18] Rockwell Automation. *Compact High Speed Counter Module* [online]. Prosinec 2008, [cit. 2010-10-24].
<http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1769-um006_-en-p.pdf>
- [19] Rockwell Automation. *1769 Compact I/O Module Specification* [online]. Leden 2010, [cit. 2010-10-24].
<http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/1769-td006_-en-p.pdf>
- [20] Rockwell Automation. *Compact I/O Expansion Modules Supplies* [online]. Říjen 2008, [cit. 2010-10-26].
<http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in028_-en-p.pdf>
- [21] Rockwell Automation. *PanelView Plus Terminals* [online]. Listopad 2009, [cit. 2010-11-29].
<http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/2711p-um001_-en-p.pdf>

10 Seznam příloh

Příloha I – Fotografie

Příloha II – Tabulka vstupů

Příloha III – CD